

Università degli Studi di Padova  
Facoltà d'Ingegneria  
Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica

Tesi di Laurea Specialistica

# **Progettazione e Realizzazione di un Controllo Automatico dell'Altezza di Taglio della Mietitrebbiatrice**

**Laureando:** Carollo Filippo  
**Matricola:** 586354-sIL

**Relatore:** prof. Meneghesso Gaudenzio

Padova, 20 Aprile 2010



---

# Indice

---

<b>Indice</b>	<b>iii</b>
<b>1 Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>2 La Mietitrebbiatrice</b>	<b>3</b>
2.1 Funzionamento Generale . . . . .	3
2.1.1 Mietitrebbiatrice Convenzionale . . . . .	5
2.1.2 Mietitrebbiatrice Assiale . . . . .	7
2.1.3 Mietitrebbiatrice Ibrida . . . . .	7
2.2 Evoluzione . . . . .	8
2.3 Le Mietitrebbiatrici Laverda . . . . .	12
<b>3 Il Controllo dell'Altezza di Taglio</b>	<b>15</b>
3.1 Storia e Sviluppo . . . . .	15
3.2 Problematiche Attuali . . . . .	16
3.2.1 Distanza dal Suolo . . . . .	16
3.2.2 Velocità di Movimento . . . . .	17
3.2.3 Uniformità di Movimento . . . . .	17
3.3 Approcci Risolutivi . . . . .	17
3.3.1 Sensori . . . . .	17
3.3.2 Elettrovalvole e Accumulatori . . . . .	20
3.3.3 Software . . . . .	21
<b>4 Il Sistema per il Controllo dell'Altezza</b>	<b>23</b>
4.1 I Sensori . . . . .	24
4.1.1 Sensore di Pressione . . . . .	24
4.1.2 Sensore Angolare di Posizione . . . . .	26
4.2 Le Elettrovalvole . . . . .	28
4.2.1 Elettrovalvola ON/OFF . . . . .	28
4.2.2 Elettrovalvola ad Apertura Proporzionale . . . . .	30
4.3 Microcontrollore MC 50-10 . . . . .	32

4.3.1	Specifiche Funzionali . . . . .	32
4.3.2	Plus+1 GUIDE: il Software di Sviluppo . . . . .	34
4.3.3	Protocollo CAN-Bus . . . . .	38
4.3.4	Dispositivi periferici . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Il Lavoro di Sviluppo</b>	<b>43</b>
5.1	Introduzione . . . . .	43
5.2	Specifiche di Progetto . . . . .	44
5.3	Progettazione Hardware . . . . .	51
5.3.1	Lo Schema Circuitale . . . . .	52
5.3.2	Il Cablaggio . . . . .	57
5.4	Il Software di Controllo . . . . .	62
5.4.1	Il Lavoro di Realizzazione . . . . .	62
5.4.2	Il Codice . . . . .	63
5.5	Prove sul Campo . . . . .	88
<b>6</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>89</b>
	<b>Bibliografia e Sitografia</b>	<b>91</b>
<b>A</b>	<b>Il Codice del Software di Controllo</b>	<b>95</b>
A.1	Strutture Complesse . . . . .	96
A.2	Strutture Semplici . . . . .	113
	<b>Elenco delle Figure</b>	<b>129</b>
	<b>Elenco delle Tabelle</b>	<b>130</b>



## Capitolo 1

---

# Introduzione

---

Il lavoro presentato in questa tesi è il frutto dell'attività che ho svolto in sei mesi di tirocinio presso l'azienda produttrice di macchine mietitrebbiatrici Laverda s.p.a. di Breganze (VI), che ha riguardato la progettazione e la realizzazione di un sistema di controllo automatico dell'altezza di taglio. Mi sono focalizzato, quindi, sulle problematiche riguardanti il raggiungimento ed il conseguente mantenimento di un'altezza di taglio uniforme impostata dall'operatore, prendendo in considerazione gli altri aspetti del funzionamento della macchina (come la trebbiatura o il movimento dell'aspo) qualora fosse necessario allo sviluppo del progetto.

Il tirocinio si è svolto da Settembre 2009 a Febbraio 2010 presso l'ufficio tecnico della Laverda s.p.a ed ha previsto la realizzazione del software operativo della centralina di elaborazione dei segnali, la progettazione del cablaggio necessario a connettere la centralina con i sensori, le elettrovalvole ed i pulsanti gestiti dall'operatore e il successivo collaudo sulla macchina per verificarne il corretto funzionamento in condizioni operative. La fase di progettazione con lo studio delle specifiche e di programmazione del software si è svolta in ufficio, la fase di prototipazione che ne è seguita si è svolta nel reparto ricerca e sviluppo, mentre la fase finale di test è avvenuta all'aperto.

Il controllo intelligente dell'altezza di taglio è stato realizzato attraverso l'elaborazione dei segnali provenienti da un sensore di pressione, da un sensore di misura dell'angolo dell'elevatore rispetto alla macchina e da due sensori che rilevano la distanza della barra da terra. L'elaborazione di questi segnali avviene all'interno di una centralina dedicata, la quale è programmata per eseguire questa operazione gestendo allo stesso tempo anche i segnali ed i messaggi d'interfaccia con l'utente. La fase finale di movimento della barra è eseguita grazie all'apertura/chiusura di una serie di valvole idrauliche pilotate dai segnali provenienti dalla centralina.

Il progetto di controllo intelligente dell'altezza di taglio non è nato *ex novo*

ma è l'evoluzione di un precedente sistema di controllo, installato sulle mietitrebbie Laverda, detto *Terra Control*. Questo sistema provvede al controllo dell'altezza di taglio attraverso l'utilizzo di una centralina programmabile che elabora i segnali provenienti da due sensori angolari posti sulla barra di taglio (che indicano la posizione della barra rispetto al suolo) e da uno posto sull'elevatore (che indica la posizione della barra rispetto al corpo della macchina) pilotando, di conseguenza, le elettrovalvole (alternativamente aperte o chiuse) che regolano il flusso d'olio in pressione il quale permette il movimento della barra.

La novità sviluppata in questo progetto di tesi risiede nella programmazione *in loco* di un nuovo modello di centralina di controllo che sfrutta il protocollo CAN-Bus permettendo una comunicazione più veloce ed efficiente tra i diversi componenti elettronici della macchina, riducendo, nel contempo, la dimensione del cablaggio. Inoltre è stata eseguita l'implementazione di un ulteriore sensore che misura la pressione dell'olio sui martinetti di sollevamento della barra in modo, da poter verificarne la posizione anche quando quest'ultima si trova radente al terreno. Infine è stata inserita nel circuito idraulico una nuova elettrovalvola la cui apertura è proporzionale al segnale inviato e grazie alla quale è possibile avere un controllo del movimento della barra più dolce e sensibile.

Il Cap.2 intende fornire la terminologia di base utilizzata nell'ambito delle macchine da raccolta e chiarire gli aspetti principali del funzionamento di una macchina mietitrebbiatrice. Il Cap.3 tratta specificatamente del controllo dell'altezza di taglio attraverso la sua evoluzione, le problematiche esistenti e gli approcci risolutivi. Nel successivo Cap.4 vengono descritte le parti della macchina interessate da questo progetto di tesi: la centralina, le elettrovalvole, i sensori, il protocollo CAN-Bus e gli strumenti di interfaccia con l'utente come il terminale video ed i pulsanti della leva di comando. Il lavoro di sviluppo, che rappresenta la parte principale di questa tesi, è esposto nel Cap.5. Qui verrà descritto il lavoro di analisi delle specifiche di progetto, la realizzazione delle parti hardware e software e le prove sul campo necessarie a verificare il corretto funzionamento del sistema. Le conclusioni del lavoro sono riportate nell'ultimo capitolo, il numero 6.

## Capitolo 2

---

# La Mietitrebbiatrice

---

### Indice

2.1	Funzionamento Generale . . . . .	3
2.1.1	Mietitrebbiatrice Convenzionale . . . . .	5
2.1.2	Mietitrebbiatrice Assiale . . . . .	7
2.1.3	Mietitrebbiatrice Ibrida . . . . .	7
2.2	Evoluzione . . . . .	8
2.3	Le Mietitrebbiatrici Laverda . . . . .	12

## 2.1 Funzionamento Generale

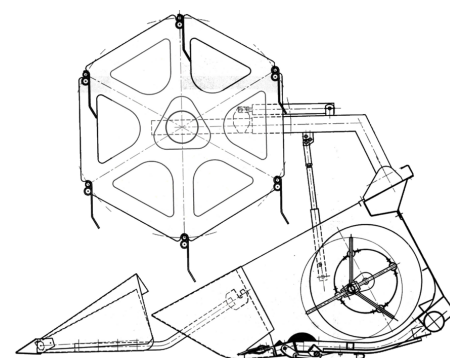
La mietitrebbiatrice è una macchina agricola in grado di mietere ed allo stesso tempo trebbiare, principalmente cereali e leguminose secche. L'operazione di *mietitura* consiste nel taglio del fusto della pianta, che viene effettuato ad altezze diverse a seconda della tipologia, mentre la *trebbiatura* permette di separare la granaglia utile dal prodotto di scarto composto dalle altre parti della pianta. La macchina si compone principalmente di tre parti: una *testata raccoglitrice* anteriore, il *battitore*, e un duplice *sistema di pulizia* del prodotto. La testata raccoglitrice ha lo scopo di realizzare il distacco dei fusti o delle parti utili di questi, ed indirizzare il raccolto verso la parte interna della macchina: ne esistono di diverso tipo e sono sempre intercambiabili in quanto ogni tipo di testata deve rispondere alle caratteristiche del prodotto che deve essere mietuto.

La possibilità di intercambiare i diversi modelli di testate permette, con una sola macchina, di riuscire a raccogliere prodotti con caratteristiche molto diverse tra loro. Le testate che vengono montate sulle mietitrebbiatrici possono essere suddivise in quattro categorie:

1. Testate falcianti generiche, adatte a grano, orzo, soia, colza, fave e altre colture a fusto esile, che realizzano il raccolto tagliando lo stelo e convogliando all'interno della macchina quasi tutta la pianta (Fig.2.1a);
2. Testate spannocchiatrici per il mais che staccano le sole spighe o pannocchie, lasciando a terra il fusto della pianta detto stocco (Fig.2.7b);
3. Testate taglienti per colture particolari, come per il girasole, munito di stelo tenace e spesso;
4. Testate raccoglitrici per colture già mietute ed andanate, adatte alla trebbiatura di colture come il trifoglio e, in generale, di specie erbacee che richiedono un periodo di alcuni giorni di essiccazione spontanea tra il taglio e la trebbiatura.



(a) Barra di taglio per il grano



(b) Schema testata dotata di aspo

**Figura 2.1:** *La mietitura del grano richiede la presenza dell'aspo che aiuta il processo di alimentazione della macchina sollevando e accompagnando il prodotto attraverso i diti di cui è dotato.*

Una volta mietuto, il prodotto viene convogliato verso il centro della testata attraverso una coclea rotante munita di denti. Quest'ultimi consentono di agganciare più saldamente il prodotto appena mietuto mentre la spirale ne permette lo spostamento. La particolarità di questa coclea risiede nel fatto che, riferendosi al centro della barra di taglio, la parte destra presenta una spirale con orientamento opposto al lato sinistro: in questo modo è possibile ottenere lo spostamento verso il centro del prodotto attraverso un movimento rotatorio unico. Dal centro della testata parte un canale elevatore che ha lo scopo di portare il raccolto all'interno del corpo macchina per mezzo di un nastro trasportatore dotato di spranghe.

All'interno della macchina iniziano i processi di trebbiatura, separazione, pulizia e raccolta che consentono di ottenere un prodotto finale integro e privo di impurità. La granella pulita così ottenuta viene portata all'interno del serbatoio dal quale verrà successivamente scaricata. I diversi approcci tecnici utilizzati per svolgere queste azioni hanno portato alla costruzione di diverse tipologie di macchine. Quelle che hanno incontrato maggiormente i favori del mercato sono:

- Le mietitrebbiatrici *convenzionali*;
- Le mietitrebbiatrici *assiali*;
- Le mietitrebbiatrici *ibride*.

### 2.1.1 Mietitrebbiatrice Convenzionale

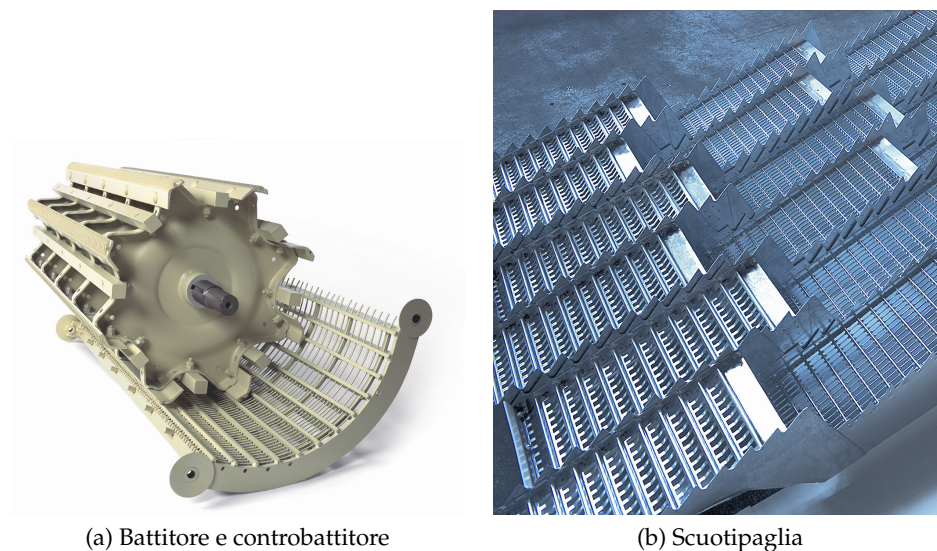


Figura 2.2: Qui sono riprodotti i principali elementi che eseguono la trebbiatura nelle mietitrebbiatrici convenzionali. La struttura formata dal battitore e dal controbattitore separa la granaglia dagli scarti che vengono successivamente setacciati dagli scuotipaglia per recuperare il prodotto utile residuo.

Come è schematizzato in Fig.2.2a, all'interno del corpo di una macchina convenzionale il prodotto incontra un tamburo rotante munito di spranghe, detto battitore, che è in parte avvolto da una struttura fissa a sviluppo semicircolare munita di piccoli rilievi e cavità, chiamata *controbattitore*: il principio di funzionamento risiede nella rotazione del battitore che causa la frizione del prodotto raccolto tra la sua superficie e quella del controbattitore, con conseguente disgregazione delle parti munite di granella e successiva separazione

di quest'ultima dal resto delle parti vegetali. In questo modo si determinano due distinti flussi di materiale, uno composto prevalentemente da granella, e l'altro da parti vegetali di scarto. Di seguito si collocano gli apparati di pulizia, distinti per i due flussi: le parti di scarto sono avviate agli *scuotipaglia* (Fig.2.2b), apparati costituiti fondamentalmente da elementi longitudinali di notevole lunghezza a cui è impresso un moto oscillatorio: il loro scopo è quello di provocare la separazione per gravità della granella residua all'interno degli scarti, i quali vengono progressivamente trasportati all'esterno del corpo macchina dallo stesso movimento oscillatorio, mentre il prodotto utile recuperato viene riportato verso il piano preparatore per essere convogliato nel flusso composto prevalentemente da granella.

Contemporaneamente a questo processo, il flusso composto prevalentemente da prodotto utile, originato dal battitore ed in parte recuperato dagli scuotipaglia, è avviato ad un apparato di pulizia differente, situato nelle parti basse del corpo macchina: esso è composto essenzialmente da due sistemi di vagli vibranti e da un impianto di ventilazione forzata che asporta le parti di scarto più fini e volatili, garantendo la produzione di un flusso di granella pulita che viene avviato al serbatoio.

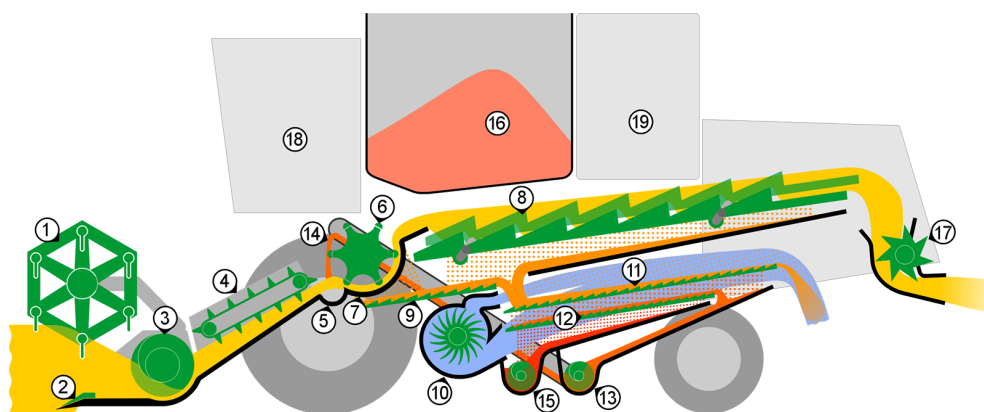


Figura 2.3: Rappresentazione schematica della struttura di una mietitrebbiatrice a trebbiatura tradizionale e con testata adatta a colture dal fusto esile.[1]

- |                           |                                    |
|---------------------------|------------------------------------|
| 1. Aspo                   | 11. Primo crivello                 |
| 2. Barra falciante        | 12. Secondo crivello               |
| 3. Convogliatore a coclea | 13. Coclea recupero mezze spighe   |
| 4. Elevatore a nastro     | 14. Riciclaggio delle mezze spighe |
| 5. Trappola parasassi     | 15. Coclea raccolta granella       |
| 6. Battitore              | 16. Serbatoio granella             |
| 7. Controbattitore        | 17. Trinciapaglia                  |
| 8. Scuotipaglia           | 18. Cabina di guida                |
| 9. Piano preparatore      | 19. Motore                         |
| 10. Ventilatore           |                                    |

### 2.1.2 Mietitrebbiatrice Assiale

Esistono anche delle mietitrebbie non convenzionali che adottano sistemi di separazione diversi da quello tradizionale appena descritto. Il più diffuso è quello assiale, mostrato in Fig.2.4, composto da uno o due rotori sagomati con nervature a spirale disposti longitudinalmente al corpo macchina ed avvolti da uno o due cilindri fissi grigliati nella parte inferiore. Il prodotto entra dalla parte anteriore e, sospinto dal moto a spirale, si muove verso quella posteriore. L'accelerazione centrifuga del materiale attraversante, generata dalla rotazione, provoca l'allontanamento preferenziale verso il cilindro di contenimento delle parti fini e pesanti, quali la granella residua, che viene forzata a roteare sulla superficie interna dei cilindri fino a poter fuoriuscire (verso il basso) quando raggiunge la zona forata degli stessi.

Gran parte degli apparati interni sono regolabili nel loro funzionamento (velocità di rotazione del battitore, distanza e angolatura tra battitore e controbattitore, intensità dell'aria, velocità di vibrazione dei vagli) e molte parti risultano intercambiabili (controbattitore e vagli) e disponibili in diverse forme e fatture, a seconda della coltura da trebbiare. Su richiesta del cliente, è possibile ottenere dalla macchina la disagregazione e lo spargimento degli scarti installando sulla mietitrebbiatrice degli appositi componenti detti trinciapaglia e spargipula, il cui funzionamento può comunque essere inibito qualora siano opportuni usi alternativi dei residui. In quest'ultimo caso gli scarti vengono raccolti e successivamente imballati.

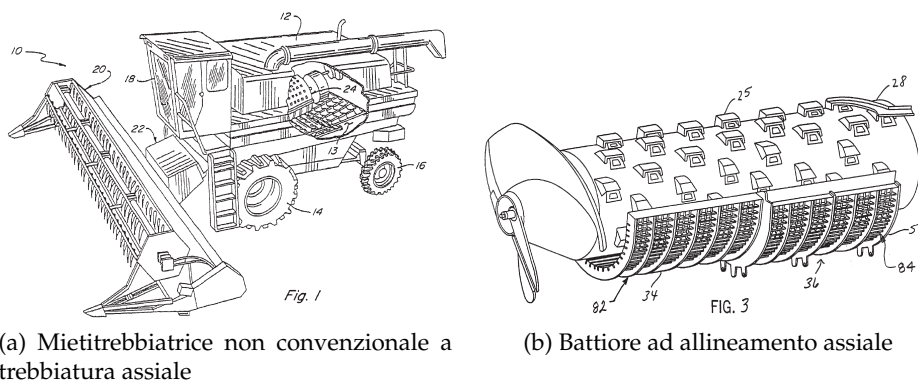


Figura 2.4: La figura riporta la rappresentazione schematica di una mietitrebbiatrice non convenzionale a trebbiatura assiale ponendo in evidenza l'apparato trebbiante che è disposto parallelamente all'asse della macchina.[2]

### 2.1.3 Mietitrebbiatrice Ibrida

Negli ultimi anni si è arrivati allo sviluppo di una nuova tecnica di trebbiatura che unisce gli elementi distintivi delle macchine convenzionali e di

quelle assiali. Come raffigurato in Fig.2.5, nelle macchine ibride l'apparato trebbiante è costituito dall'insieme della struttura battitore/controbattitore e dai rotori posti lungo la direzione di movimento.

In questa configurazione, il battitore ed il controbattitore eseguono la separazione degli scarti dalla granella, come avviene nella trebbitura tradizionale, mentre il setaccio del prodotto residuo non è più affidato agli scuotipaglia ma alla forza centrifuga generata dal movimento dei rotori, seguendo lo stesso principio di funzionamento delle macchine assiali.



Figura 2.5: La figura mostra un apparato trebbiante ibrido dove si ha la presenza del sistema battitore/controbattitore, come nelle macchine convenzionali, e dei due rotori paralleli all'asse della macchina, analogamente alle macchine assiali.

## 2.2 Evoluzione

Fino alla fine del XVIII secolo i processi di mietitura e trebbiatura si svolgevano in maniera separata: la pianta veniva mietuta nel campo e raccolta in covoni i quali venivano poi trasportati nelle aie o in altri luoghi adibiti, dove avveniva la separazione della granaglia dalla pula battendo le piante con un bastone oppure facendole calpestare dagli zoccoli degli animali da soma.

Il processo di meccanizzazione riguardò in primo luogo la fase di trebbiatura, data le sue grosse difficoltà operative. Agli inizi del '900 apparvero le prime macchine trebbiatrici fisse che in seguito vennero ulteriormente sviluppate rendendole capaci di operare attraverso la connessione meccanica con rudimentali macchine a vapore che generavano la forza motrice necessaria alla trebbiatura. Intorno agli anni '30 del secolo scorso nacquero le falciatrici meccaniche e le prime macchine mietilegatrici, che consentivano di tagliare la pianta e, allo stesso tempo, raccoglierla in covoni allo stesso tempo.



Il secondo dopoguerra vede lo sviluppo delle macchine mietitrebbiatrici semoventi che, mosse da un motore, permettevano di mietere e trebbiare nel campo di lavoro e di svolgere le due operazioni in maniera praticamente simultanea. Questo sopprimeva la necessità del lavoro umano o animale ed abbattava i tempi d'attesa per ottenere il prodotto finito. La prima mietitrebbia semovente costruita in Italia uscì dagli stabilimenti Laverda nel 1956.

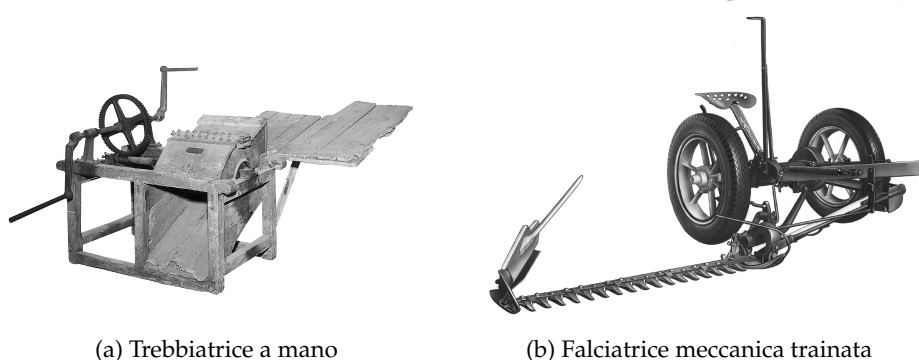


Figura 2.6: La figura riporta i primi esempi di attrezzature meccaniche nell'ambito della mietitura e della trebbiatura.

Con l'aumento della meccanizzazione e l'avvento di questa nuova tipologia di macchina per la raccolta sono sorte nuove problematiche alle quali i progettisti sono stati chiamati a dare una risposta. Si sono cercate soluzioni per una trebbiatura efficace ma allo stesso veloce per consentire determinati regimi produttivi e, a tal proposito, si sono sviluppate le tecniche di trebbiatura assiale e tradizionale che rispondono a due diverse esigenze di lavoro. Nella trebbiatura assiale il processo di separazione avviene lungo l'asse della mietitrebbia, cioè lungo la direzione del movimento, e la separazione del prodotto è causata dallo sfregamento reciproco delle varie piante lungo il canale assiale. Si capisce, quindi, che per avere uno sfregamento efficiente tra le piante mietute è necessario avere un'elevata capacità di raccolta in modo che le piante nel canale assiale di trebbiatura siano sempre compresse. Le macchine che implementano questo tipo di trebbiatura sono perciò indicate per terreni a resa molto elevata (aree agricole molto vaste come negli Stati Uniti o in Germania) mentre le macchine a trebbiatura tradizionale sono utili in zone a resa più bassa (zone montane, collinari ed appezzamenti di dimensioni più contenute tipiche dell'Italia).

L'utilizzo della macchina mietitrebbiatrice anche su terreni in pendenza ha evidenziato un problema nel processo di trebbiatura fino ad allora ignorato: la corretta separazione della granaglia dalla pula deve essere eseguita in piano in modo che il prodotto si distribuisca uniformemente tra gli scuotipaglia e tra il battitore ed il controbattitore. Se questa lavorazione avviene in pendenza

si ha un accumulo di materiale nella zona della macchina che si trova a valle causando una non efficace separazione del seme dalla pianta e la conseguente perdita di prodotto. La tecnologia costruttiva delle macchine di raccolta si è quindi evoluta producendo le cosiddette mietitrebbie *autolivellanti* (Fig.2.7a) che, grazie ad opportuni sollevatori idraulici, riescono a mantenere il corpo della macchina in posizione piana consentendo una efficace trebbiatura anche in condizioni di lavoro su terreni in pendenza.

Non meno importante risulta essere la fase di mietitura: essa consiste nel taglio della pianta all'altezza desiderata ed il convogliamento del materiale verso la zona di trebbiatura all'interno della macchina. Essendo la prima fase del processo si capisce come l'intera filiera ne risulti compromessa se questa operazione è compiuta in maniera errata. Un taglio ben eseguito prevede che tutto il prodotto lavorabile venga mietuto al fine di essere trebbiato. Ogni pianta, però, presenta differenti caratteristiche per quanto riguarda la dimensione, l'altezza delle granaglie e dei semi, la durezza delle fibre, etc. che devono essere prese in considerazione per raggiungere lo scopo di lasciare sul terreno la minor quantità possibile di prodotto.



(a) Mietitrebbiatrice autolivellante



(b) Barra per il mais

**Figura 2.7:** Due esempi di versatilità della mietitrebbiatrice. La capacità di livellamento consente di lavorare anche in terreno in pendenza mantenendo in posizione orizzontale il corpo della macchina. Cambiando il tipo di testata è possibile mietere anche colture a mais attraverso una barra conformata alle esigenze del prodotto, con la presenza di punte interfila che si incuneano nello spazio tra le diverse file di piante incanalandole verso i rulli mungitori.

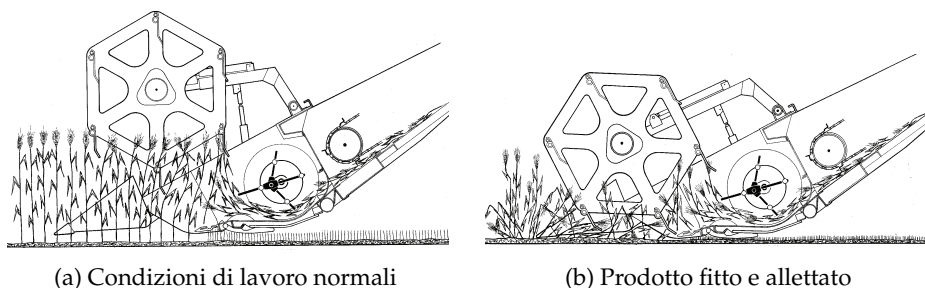
Nel corso degli anni la barra di taglio della mietitrebbia si è costantemente evoluta per consentire un taglio sempre più efficace per ogni tipo di pianta. Si sono quindi ricercati materiali di più pratico utilizzo e maggior affidabilità, come le lame dotate di nuovi profili e di nuovi materiali, e si sono aggiunti nuovi accessori come l'aspo, le punte interfila. Si è proceduto anche in direzione di

una maggior produttività aumentando la frequenza dei colpi mossi dalle lame e la capacità di trasporto della coclea cercando di automatizzare i vari processi con l'obiettivo di massimizzare la resa e aumentare il comfort dell'operatore.

L'evoluzione subita dalla barra di taglio nel corso degli anni ha abbandonato l'idea di poter realizzare uno strumento che fosse in grado di essere utilizzato per la mietitura di ogni tipo di coltura ma, data la grande diversità tra le specie di piante, l'adattamento al prodotto è stato realizzato attraverso la progettazione di barre intercambiabili che seguissero il più possibile le caratteristiche delle diverse colture, come è descritto nella sezione 2.1.

L'altro aspetto che deve essere necessariamente tenuto in considerazione nella fase di mietitura è l'altezza da terra alla quale viene eseguito il taglio e verrà trattato nel Cap.3.

La tendenza attuale è quella di consentire un controllo sempre più agevole ed affinato di tutte le operazioni della macchina. Per questo ci si affida sempre più all'utilizzo di sensori che monitorano le attività della mietitrebbiatrice (i giri dell'aspo e del motore, il livello di riempimento del serbatoio della granella, quantità di prodotto perso, etc.) e permettono ad una serie di centraline di elaborare questi segnali per avvertire l'operatore e, in certi casi, di intervenire automaticamente.



**Figura 2.8:** I disegni riprodotti rappresentano schematicamente le funzionalità dell'aspo. In condizioni normali (Fig.(a)) l'aspo è sollevato e i diti penetrano leggermente nel prodotto che è introdotto correttamente all'interno del canale di alimentazione. Nel caso in cui il prodotto sia fitto ed allettato (Fig.(b)) l'aspo è posizionato molto vicino al terreno e davanti alla barra di taglio in modo da raddrizzare le piante e permette una corretta alimentazione della macchina.[3]

## 2.3 Le Mietitrebbiatrici Laverda

La prima mietitrebbiatrice Laverda fu costruita nel 1956 negli stabilimenti di Breganze (Vi), diventando la prima macchina di questo tipo costruita in serie in Italia, ma il know-how dell'azienda derivava da più di ottant'anni di attività: la *Ditta Pietro Laverda*, infatti, nacque nel 1873 producendo macchine agricole come sgranatoi per pannocchie, trebbiatrici manuali, pigiatrici per uva e torchi per vinacce. Negli anni successivi essa vide crescere il proprio prestigio aumentando le dimensioni dello stabilimento e diversificando la produzione, con lo sviluppo di orologi per campanili e cannoni grandinifughi.

Negli anni '30, furono progettate e costruite la prima falciatrice meccanica italiana a traino animale (1934) e la mietilegatrice ML 6, considerata capostipite di una lunga serie di macchine da raccolto. Lo scoppio della seconda guerra mondiale e la successiva crisi economica frenarono i processi di sviluppo dei nuovi prodotti ma con l'avvento del boom economico fu possibile presentare la Laverda M 60, la prima mietitrebbiatrice di costruzione italiana. A partire da questi anni lo sviluppo e la realizzazione delle mietitrebbie diventò l'attività principale dell'azienda tanto che nel 1960 venne aperto un nuovo stabilimento per ospitarne le linee di produzione.

Nel 1970 vede la luce la M 100 AL, la prima macchina mietitrebbiatrice autolivellante a livello mondiale. La possibilità di seguire gli andamenti del terreno per lavorare sempre in posizione orizzontale la rendevano particolarmente adatta ai vasti territori collinari presenti in Italia. È da questi anni che si inizia a pensare allo sviluppo dell'automazione all'interno della macchina dato che l'autolivellamento richiede che alcuni movimenti della mietitrebbia vengano eseguiti in maniera autonoma dal comando dell'utente.

Lo sviluppo tecnologico e la ricerca di soluzioni che consentano una sempre maggior automazione delle funzioni svolte dalla macchina aumentando nel contempo l'affidabilità e la facilità di gestione, portano la Laverda, nel 1980, a presentare la M 182 la prima macchina mietitrebbiatrice a controllo completamente elettronico. La tecnologia non consentiva un utilizzo massiccio dei microprocessori per cui la parte del leone era svolta dai relè e dai diodi ma le basi per lo sviluppo futuro erano state gettate.

Il prestigio e la capacità produttiva raggiunte dalla Laverda spinsero la Fiat a rilevarne il pacchetto azionario nel 1981: da quell'anno l'attività svolta a Breganze divenne la punta di diamante per quanto riguardava la produzione di mietitrebbiatrici dell'intero gruppo. L'azienda torinese mantenne il controllo dello stabilimento Laverda per quasi vent'anni, durante i quali si procedette alla progettazione delle mietitrebbie della serie L. In queste macchine venne introdotto un nuovo sistema brevettato denominato Mcs (Multi Crop Separator) che permetteva di regolare la configurazione dell'apparato di separazione della granaglia dalla pula in modo da poter garantire stabilità produttiva e flessibilità operativa. Accanto a questa novità principale si assistette all'intro-

duzione della trazione integrale e del sistema di controllo della piattaforma di taglio detto Terra Control.

Nel 2000, a causa delle leggi antitrust, il gruppo Fiat dovette cedere le sue attività presenti a Breganze alla società Argo che rilanciò il marchio storico con nuovi modelli e mirate operazioni di marketing. Vennero realizzate le mietitrebbie della serie M e della serie Rev per competere nel mercato sfruttando le loro caratteristiche di alta produttività ed economicità.

Dopo alcuni anni di accordi commerciali, nel 2007 la multinazionale Agco, operante nel settore della meccanizzazione agricola, acquisisce il 50% dello stabilimento Laverda apportando nuove conoscenze e consentendo l'introduzione sul mercato della macchina assiale Laverda ML 800 ARS.[4]



## Capitolo 3

---

# Il Controllo dell'Altezza di Taglio

---

### Indice

3.1	Storia e Sviluppo . . . . .	15
3.2	Problematiche Attuali . . . . .	16
3.2.1	Distanza dal Suolo . . . . .	16
3.2.2	Velocità di Movimento . . . . .	17
3.2.3	Uniformità di Movimento . . . . .	17
3.3	Approcci Risolutivi . . . . .	17
3.3.1	Sensori . . . . .	17
3.3.2	Elettrovalvole e Accumulatori . . . . .	20
3.3.3	Software . . . . .	21

### 3.1 Storia e Sviluppo

Il processo di mietitura della pianta deve provvedere a non lasciare a terra del prodotto utile e a non sollecitare oltre il dovuto le lame e le parti meccaniche poste sulla barra. Per questo la barra di taglio deve potersi muovere per adeguarsi alle esigenze delle diverse colture ed ai diversi tipi di terreno.

L'esecuzione manuale della regolazione dell'altezza di taglio necessitava di attenzioni particolari da parte dell'operatore che lo distoglievano dalle altre operazioni che doveva compiere sulla macchina (come la regolazione della velocità di avanzamento, il mantenimento di una direzione rettilinea o il controllo del riempimento del serbatoio). Per questo è nata la necessità di un controllo dell'altezza di taglio che, sfruttando la forza idraulica dell'olio in pressione, consentisse il movimento delle testate in modo automatico.

Nel 1970, con la realizzazione della prima macchina autolivellante, è stato introdotto un controllo automatico che manteneva la barra alla distanza dal terreno impostata dall'utente, compensando il livellamento della macchina seppur in modo poco preciso. Questo tipo di controllo prevedeva che l'azionamento idraulico fosse pilotato da apparecchi meccanici in grado di riconoscere la necessità del movimento della barra, anche se il meccanismo non sempre operava in maniera puntuale ed aveva elevati costi di manutenzione.

La ricerca di un controllo sempre più immediato e affidabile ha spinto i progettisti a comandare il movimento della testata attraverso componenti elettronici. La forza motrice viene ancora fornita dall'olio in pressione ma le valvole che ne consentono il passaggio sono pilotate attraverso segnali elettrici e non più in maniera meccanica. In questo modo si eliminano gli inconvenienti di lentezza e manutenzione e si aumenta la versatilità e la varietà delle azioni possibili grazie alle proprietà intrinseche dei componenti elettronici.

## 3.2 Problematiche Attuali

Un sistema di controllo dell'altezza di taglio deve garantire che la mietitura venga effettuata ad una distanza costante, rispetto al suolo o alla macchina, al variare della morfologia del terreno. Il lavoro di sviluppo svolto nel corso degli anni ha permesso di ottenere delle soluzioni progettuali che garantissero il mantenimento dell'altezza di taglio desiderata in diverse condizioni operative. Per essere in grado di soddisfare le richieste del cliente, un sistema ottimale di controllo dell'altezza di taglio deve possedere le seguenti caratteristiche:

1. La barra di taglio deve poter rimanere il più vicino possibile al suolo senza venir danneggiata da un contatto troppo forte con il terreno;
2. Il movimento della piattaforma di taglio deve rispondere il più rapidamente possibile agli impulsi di comando, sia automatici che manuali;
3. La testata deve muoversi dolcemente ed in maniera uniforme in modo da non trasferire le vibrazioni al corpo della macchina e da non sollecitare ulteriormente le parti meccaniche.

### 3.2.1 Distanza dal Suolo

La barra di taglio deve poter lavorare in posizione adiacente al terreno per poter raccogliere la maggior quantità di prodotto disponibile quando trebbia prodotti la cui granaglia è posta a pochi centimetri dal terreno, come la soia o il pisello. I sensori di posizione, però, non riescono a risolvere le distanze da terra troppo piccole, come le inevitabili asperità e irregolarità del terreno, portando al danneggiamento dei componenti della testata, quali le lame di taglio. Questo si traduce in una diminuzione dell'affidabilità e della capacità produttiva della macchina a causa, rispettivamente, delle riparazioni a cui deve



essere sottoposta la testata e alla riduzione della velocità di avanzamento della mietitrebbia necessaria a ridurre l'intensità degli urti.

### 3.2.2 Velocità di Movimento

Attualmente il tempo che intercorre tra l'invio dell'impulso e l'inizio del movimento della testata si attesta attorno ai 50 millisecondi. Considerando che la durata dell'impulso di comando è nell'ordine dei microsecondi, si capisce come la velocità di risposta dipenda, in ultima analisi, solo dal sistema idromeccanico, la cui pressione, oltre al peso della barra di taglio, deve vincere anche l'effetto di accumulo dato dall'inevitabile espansione dei tubi di gomma e la forza di attrito tra le parti meccaniche. Comunque, considerando la velocità di reazione di un essere umano, i tempi di risposta sono quasi istantanei e garantiscono un livello di sicurezza ottimale.

### 3.2.3 Uniformità di Movimento

Il movimento della barra è fonte di vibrazioni che disturbano l'operatore e che, a lungo andare, danneggiano le parti meccaniche della macchina. Queste sollecitazioni meccaniche si originano nel momento in cui la testata arresta la sua corsa e l'inerzia del movimento si trasferisce al corpo della mietitrebbia. L'elevato peso della barra di taglio e la frequenza degli spostamenti compiuti durante una normale attività di mietitura, rendono queste vibrazioni particolarmente dannose per l'affidabilità della macchina ed il comfort dell'operatore.

In ogni caso, le macchine prodotte attualmente sono accettate dal mercato anche se le loro caratteristiche funzionali presentano ancora margini di miglioramento che, se sfruttati, consentirebbero un notevole aumento delle prestazioni della mietitrebbia in termini di raccolto e di affidabilità.

## 3.3 Approcci Risolutivi

Il lavoro di sviluppo compiuto dalle diverse case produttrici ha cercato di superare questi problemi grazie a nuove tecnologie e tecniche di controllo.

### 3.3.1 Sensori

La questione principale è poter rilevare la distanza della barra di taglio dal terreno. A questo scopo vengono utilizzati dei sensori elettromeccanici i quali permettono di convertire in tensione delle grandezze fisiche. I sensori montati sulle macchine generano un segnale proporzionale alla distanza angolare compiuta da un'asticella che è collegata alle parti mobili della mietitrebbia. Per valutare correttamente la posizione della testata vengono usati tre dispositivi

di questo tipo: un sensore angolare è posto sull'elevatore, in modo da indicare la posizione della barra rispetto al corpo macchina, mentre gli altri due sono posti ai lati della testata (uno a destra e uno sinistra) in modo da valutarne la distanza dal suolo. In quest'ultimo caso, però, devono essere usati dei supporti, detti slitte, che si adagino al terreno e ne seguano i movimenti che verranno, in questo modo, registrati dal sensore.

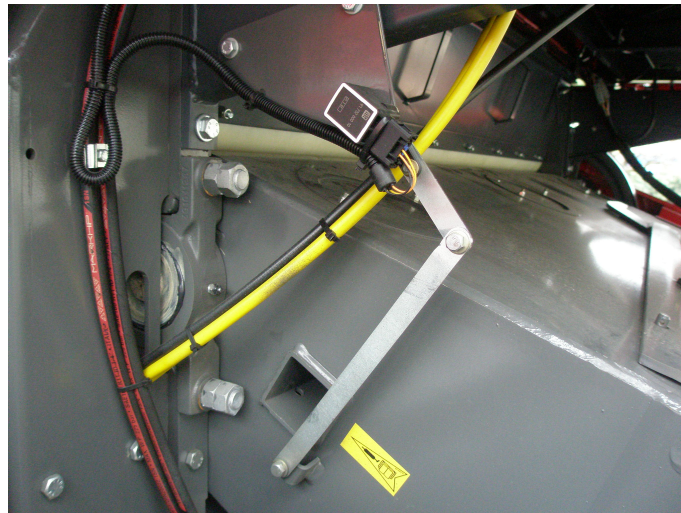


Figura 3.1: Sensore angolare di posizione dell'elevatore. Si osserva chiaramente il collegamento meccanico tra il braccio del sensore e l'elevatore della macchina il cui movimento deve essere misurato.

Per riuscire a misurare la distanza dal terreno si è cercato anche di utilizzare la tecnologia laser montando due sorgenti ai lati della testata che proiettano un raggio verso il terreno e tramite un sensore se ne cattura la parte riflessa dal suolo: il ritardo con cui il raggio ritorna alla testata identifica la distanza di taglio. L'inconveniente di questa tecnica è dovuto alla natura stessa del raggio laser che, avendo un diametro ridotto, non consente di identificare ostacoli o avvallamenti. Ad esempio, se il fascio cade all'interno di una crepa presente tra le zolle, che essendo larga pochi centimetri è influente per il lavoro della macchina, il sensore indicherà alla centralina di controllo un'altezza da terra maggiore di quella reale con il probabile rischio di danneggiare la testata a causa del segnale non corretto.

Dato che i sensori di posizione non riescono a risolvere le distanze da terra troppo ridotte (attorno ai 4-5 cm), risulta difficile effettuare una corretta mietitura vicina al suolo. I progettisti hanno quindi pensato di sfruttare il principio di funzionamento dei martinetti idraulici dove, in condizioni stazionarie, la pressione dell'olio esercita sugli stantuffi una forza direttamente proporzionale al peso della barra, sapendo che nel caso in cui la testata si appoggiasse al terreno questa pressione verrebbe ridotta, in quanto una parte



*Figura 3.2: Sensore angolare di posizione delle slitte. Le slitte sono poste ai lati della barra di taglio ed ognuna presenta una configurazione come quella riportata nella figura. Si nota l'asta metallica che trasferisce il movimento della slitta al braccio del sensore affinché possa essere misurato.*

del peso è scaricata al suolo. Quindi, installando lungo il circuito idraulico della testata un dispositivo, detto pressostato, che agisce quando la pressione scende al di sotto di una soglia predeterminata, si è in grado di riconoscere un contatto eccessivo tra la barra di taglio ed il terreno. In questo caso, però, il controllo si riduce ad un meccanismo di sicurezza contro gli urti che la testata può subire contro il suolo: il posizionamento della barra infatti avviene ancora sfruttando i sensori angolari e il lavoro del pressostato impedisce che la scarsa risoluzione che si ha quando la barra è radente al terreno, possa portare a danneggiamenti della piattaforma di taglio. Un controllo vero e proprio sulla base della pressione dell'olio all'interno del circuito idraulico è possibile grazie all'utilizzo dei sensori di pressione che, analogamente ai sensori angolari, traducono in segnale elettrico il valore di pressione registrato. Questi dispositivi, sviluppati negli ultimi anni, permettono di distinguere più posizioni in cui

la testata si può trovare quando è radente al terreno consentendo, in questo modo, risposte più precise in funzione del carico al suolo impostato.

### 3.3.2 Elettrovalvole e Accumulatori

Se da una parte si ricerca la velocità di movimento per poter seguire più puntualmente le variazioni del terreno, dall'altra si vuole che la barra di taglio si muova lentamente per ridurre le vibrazioni che, essendo scaricate attraverso il corpo macchina, danneggiano le parti meccaniche del veicolo e disturbano l'operatore. Per questo si è cercato di modulare la velocità di movimento della piattaforma di taglio attraverso l'utilizzo di elettrovalvole che limitano la portata del circuito idraulico.

I maggiori stress vibrazionali, però, hanno luogo all'inizio e alla fine della fase di movimento, quando le elettrovalvole del circuito idraulico della testata vengono aperte e chiuse, causando una brusca variazione della pressione dell'olio. Attraverso l'utilizzo di opportuni accumulatori idraulici, azionabili elettronicamente, si cerca di ridurre la velocità di questa variazione portando ad un rallentamento del movimento e ad una riduzione delle vibrazioni. Gli accumulatori sono formati da una camera all'interno della quale è posta una sacca a tenuta stagna dove l'azoto, contenuto al suo interno, tende a contrarsi o ad espandersi a seconda che la pressione esterna, esercitata dall'olio, aumenti o diminuisca mantenendo quindi costante la pressione esercitata bilanciandone le variazioni.

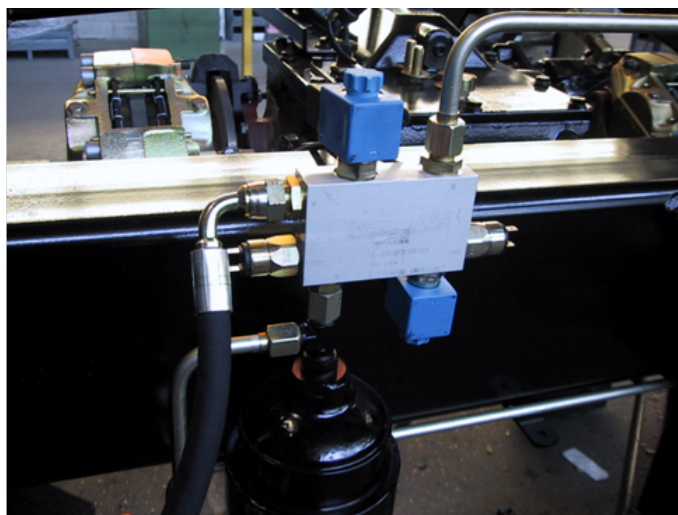


Figura 3.3: Accumulatore e sensore di pressione

L'ultima novità in questo campo è rappresentata dall'elettrovalvola ad apertura variabile. Mentre le comuni valvole possono essere solamente aperte o chiuse questa consente di avere una molteplicità di stati in relazione al segnale

con cui viene pilotata: in questo modo è possibile regolare il flusso dell'olio (e di conseguenza la pressione nel circuito idraulico) seguendo le diverse condizioni di lavoro della macchina.

### 3.3.3 Software

Come detto in precedenza, la velocità di esecuzione dei comandi di movimento impartiti alla testata dipende, in ultima analisi, solo dal tempo di risposta del sistema idraulico sul quale si deve lavorare per trovare una soluzione efficace. L'implementazione della centralina programmabile ha comunque permesso di migliorare le prestazioni in quest'ambito attraverso l'aumento dell'affidabilità e della velocità di risposta grazie alle sue proprietà strutturali e all'eliminazione di alcuni componenti, come relè e diodi.

Inoltre, anche attraverso il software implementato nella centralina programmabile è possibile intervenire per ridurre le sollecitazioni ed ottenere un movimento della testata dolce ed uniforme. L'operatore, infatti, è messo in condizione di poter regolare i parametri di sensibilità del controllo e dell'inerzia della barra. Soprattutto su terreni sconnessi, le oscillazioni a cui è sottoposta la macchina possono portare la piattaforma di taglio ad un'altezza diversa da quella impostata attivando, di conseguenza, il meccanismo per riportarla alla posizione predefinita.

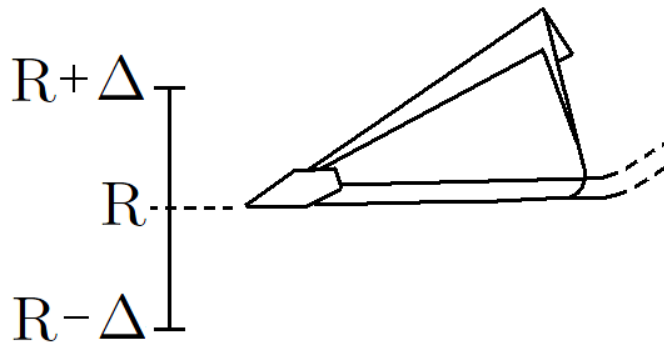


Figura 3.4: Rappresentazione schematica dell'utilizzo del parametro di sensibilità nel controllo dell'altezza di taglio. Con  $R$  è indicato il valore di riferimento memorizzato che deve essere raggiunto dal sistema. Con  $\Delta$ , invece, è indicato l'intervallo nel quale è inibito il controllo e che ne aumenta o diminuisce la sensibilità.

Per evitare che una serie di oscillazioni di scarsa intensità attivino continuamente le elettrovalvole (causando un'indesiderata serie di movimenti sussultori) si può intervenire diminuendo la *sensibilità* del controllo in modo che quest'ultimo intervenga con minore frequenza.

Come mostrato in Fig.3.4, attraverso l'utilizzo del software è possibile impostare un parametro  $\Delta$  che rende il sistema meno sensibile alle oscillazioni

facendo intervenire il controllo a retroazione solamente quando i valori registrati dai sensori escono dall'intervallo  $R \pm \Delta$ , dove  $R$  è il valore di riferimento memorizzato.

Sempre agendo attraverso il software è possibile prendere in considerazione l'inerzia della piattaforma di taglio che, dato l'elevato peso della testata, non è trascurabile. Nel processo di controllo, infatti, la centralina chiude le elettrovalvole quando la barra raggiunge l'altezza impostata ma la grande forza di inerzia conservata ed il residuo movimento dell'olio all'interno dei martinetti fa sì che la piattaforma continui il movimento fermandosi ad un'altezza non corretta: in questo modo il sistema cerca ripetutamente di ripristinare la posizione desiderata portando alla generazione di oscillazioni indesiderate. Per ovviare a ciò è possibile impostare un valore di *isteresi*, definito per ogni barra e per ogni tipo di movimento (sollevamento, abbassamento, flottazione destra e flottazione sinistra) che permetta di bilanciare l'inerzia della barra facendo in modo che la centralina di controllo chiuda le elettrovalvole prima che la testata raggiunga l'altezza impostata e lasciando che il movimento residuo completi lo spostamento fino al valore di riferimento.

## Capitolo 4

---

# Il Sistema per il Controllo dell'Altezza

---

### Indice

4.1	I Sensori . . . . .	24
4.1.1	Sensore di Pressione . . . . .	24
4.1.2	Sensore Angolare di Posizione . . . . .	26
4.2	Le Elettrovalvole . . . . .	28
4.2.1	Elettrovalvola ON/OFF . . . . .	28
4.2.2	Elettrovalvola ad Apertura Proporzionale . . . . .	30
4.3	Microcontrollore MC 50-10 . . . . .	32
4.3.1	Specifiche Funzionali . . . . .	32
4.3.2	Plus+1 GUIDE: il Software di Sviluppo . . . . .	34
4.3.3	Protocollo CAN-Bus . . . . .	38
4.3.4	Dispositivi periferici . . . . .	40

Un sistema di controllo automatico dell'altezza di taglio deve essere in grado di far muovere la testata della mietitrebbiatrice in relazione alla posizione di quest'ultima ed alle impostazioni dell'operatore.

Prestando attenzione solamente alla parte elettronica del sistema, si rende necessario l'utilizzo di sensori, elettrovalvole e di un microcontrollore in quanto:

1. I *sensori* consentono di rilevare la posizione della testata;
2. Il *microcontrollore* è in grado di elaborare i dati provenienti dall'esterno e metterli in relazione con le disposizioni indicate dall'operatore per generare dei segnali che comandino il movimento della barra di taglio;

3. Le *elettrovalvole*, in base ai segnali in arrivo dal microcontrollore, consentono l'esecuzione del movimento permettendo il passaggio dell'olio in pressione all'interno dei martinetti idraulici.

Questo insieme di componenti è perfettamente funzionale allo svolgimento dei compiti affidati al sistema di controllo: i vari componenti, comunicando attraverso segnali elettrici, formano una struttura organizzata in cui ognuno svolge il proprio compito al fine di raggiungere l'obiettivo.

Ogni progetto, però, ha bisogno di particolari tipi di sensori, elettrovalvole e microcontrollori che siano in grado di rispondere alle esigenze imposte dalle specifiche di funzionamento. In questo capitolo vengono analizzati i componenti elettronici che hanno consentito la realizzazione del sistema di controllo durante il periodo di tirocinio svolto presso la *Laverda s.p.a.* e grazie ai quali è stato possibile soddisfare le specifiche funzionali richieste dall'azienda.

## 4.1 I Sensori

Il sistema di controllo dell'altezza di taglio ha bisogno di conoscere le condizioni esterne per poi poter elaborare una corretta strategia di lavoro. I sensori, quindi, sopperiscono a questa necessità traducendo in segnali elettrici i parametri funzionali della barra di taglio.

Per il rispetto delle specifiche progettuali è richiesto di conoscere la posizione della testata e la pressione che l'olio esercita sui martinetti idraulici per sostenerla. Per questo motivo vengono utilizzati dei sensori specifici in grado di convertire le informazioni desiderate in un segnale elaborabile dal sistema: il sensore di pressione ed il sensore angolare.

### 4.1.1 Sensore di Pressione

Il sensore di pressione rappresentato in Fig.4.1 consente di tradurre in segnale elettrico il valore della pressione esercitata dall'olio all'interno del circuito idraulico destinato al movimento della testata. A differenza di quanto avviene per il sensore angolare, la misura della pressione avviene in maniera diretta in quanto l'olio è posto a contatto con la superficie di rilevamento.

Il funzionamento del sensore si fonda sulla misurazione della deformazione subita da una membrana ermeticamente saldata al corpo del sensore e posta in contatto con l'olio. Questa misura è effettuata utilizzando un disco piezoelettrico che genera una differenza di potenziale che è proporzionale alla deformazione subita. Il segnale elettrico, così ottenuto, viene infine amplificato per avviare alla bassa tensione in uscita dal dispositivo piezoelettrico.

Quindi, l'entità della deformazione misurata è strettamente connessa con la pressione che l'olio esercita sulla membrana e, di conseguenza, all'interno del circuito idraulico. Conoscendo le proprietà meccaniche del materiale che



componi la membrana (una lega di cromo e nichel, in questo caso) è possibile ottenere un'esatta corrispondenza tra la pressione esterna e l'entità della deformazione. In questo caso perciò, è possibile ottenere un segnale elettrico che indichi esattamente il valore di pressione che viene esercitato sull'organo di misura del sensore.[5]



**Figura 4.1:** In figura è rappresentato il sensore di pressione utilizzato nel sistema di controllo dell'altezza di taglio che consente di rilevare la pressione dell'olio all'interno del circuito idraulico che permette il movimento della testata.[5]

Il sensore di pressione è fornito dalla *Rexroth*, azienda tedesca appartenente al gruppo *Bosch* e attiva nel settore della componentistica per l'automazione industriale e mobile. I suoi dati tecnici principali sono riassunti nella Tab.4.1.

Pressione massima misurabile	80 bar
Pressione di rottura	1700
Tensione di Alimentazione	5 Vdc
Tensione d'Uscita	0.5 ↔ 4.5 V
Tempo di risposta	2 ms
Temperatura di Lavoro	-40°C ↔ +100°C
Temperatura dell'olio	-40°C ↔ +125°C

**Tabella 4.1:** Nella tabella sono riportati i principali dati tecnici del sensore di pressione utilizzato nel sistema di controllo dell'altezza di taglio.[5]

### 4.1.2 Sensore Angolare di Posizione

Il sensore angolare è in grado, come dice il nome stesso, di tradurre in segnale elettrico lo spostamento angolare compiuto dal piccolo braccio di cui è dotato. La misura della posizione degli organi meccanici della macchina avviene in maniera indiretta in quanto il movimento della testata viene trasferito al braccio del sensore attraverso dei collegamenti metallici, come mostrato in Fig.3.1 e in Fig.3.2.



*Figura 4.2: La figura presenta il sensore angolare utilizzato nel sistema di controllo dell'altezza di taglio il quale, sfruttando l'effetto Hall, riesce a tradurre in segnali elettrici le differenti posizioni assunte dalla testata.[6]*

Il principio di funzionamento del sensore angolare utilizzato nel sistema di controllo dell'altezza di taglio, e rappresentato in Fig.4.2, si fonda sull'effetto Hall<sup>1</sup>. All'interno del sensore il magnete è collegato direttamente al perno che viene messo in movimento dalle parti meccaniche della mietitrebbiatrice. Come schematizzato in Fig.4.3, quando il magnete entrerà in rotazione, per effetto del movimento della testata, il campo magnetico che attraverserà l'elemento di Hall inizierà a variare fino ad invertirsi e, di conseguenza, cambierà anche la distribuzione delle cariche sulla superficie dell'elemento attivo. Il potenziale di Hall misurato, che è dovuto alla distribuzione delle cariche, darà,

---

<sup>1</sup>L'effetto Hall è la formazione di una differenza di potenziale, detto potenziale di Hall, sulle facce opposte di un conduttore elettrico dovuta a un campo magnetico perpendicolare alla corrente elettrica che scorre in esso. Esso prende il nome dal fisico Edwin Hall che per primo lo scoprì nel 1879.

quindi, la misura della variazione angolare subita dal perno del sensore e, per transitività, dalla testata.[6] [7]

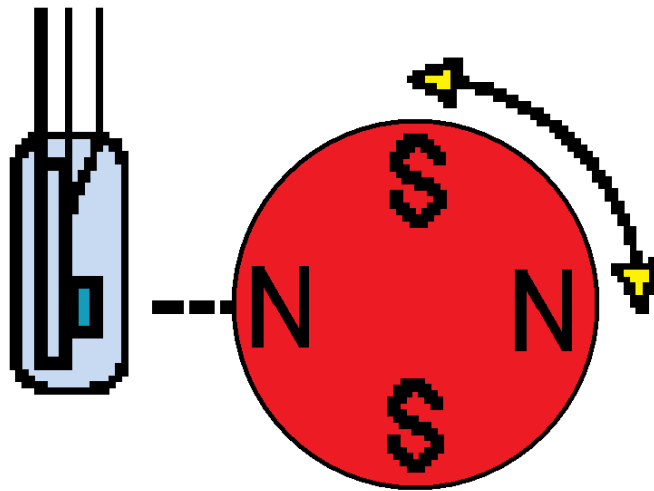


Figura 4.3: La figura riporta una rappresentazione schematica del funzionamento del sensore angolare ad effetto Hall. La rotazione del magnete varia il campo magnetico che attraversa l'elemento attivo facendo variare il potenziale di Hall e consentendo di misurare lo spostamento effettuato.[6]

Anche il sensore angolare ad effetto Hall utilizzato nel sistema di controllo dell'altezza di taglio è fornito dalla *Rexroth*. Le sue principali caratteristiche funzionali sono riassunte nella Tab.4.2.

Angolo di movimento	360°
Angolo Misurabile	±45°
Tensione di Alimentazione ( $U_{\text{supply}}$ )	5 Vdc
Corrente di Alimentazione	11 mA
Tensione d'Uscita	0.5 ↔ 4.5 V
Risoluzione	0.025% $U_{\text{supply}}$
Temperatura di Lavoro	-30°C ↔ +80°C

Tabella 4.2: La tabella riporta le principali caratteristiche funzionali del sensore angolare ad effetto Hall utilizzato nel sistema di controllo dell'altezza di taglio e prodotto dall'azienda tedesca *Rexroth*.

## 4.2 Le Elettrovalvole

Le elettrovalvole rappresentano il braccio operativo del sistema di controllo dell'altezza di taglio. Esse infatti concretizzano il segnale elettrico generato dal microcontrollore nel movimento della testata attraverso la regolazione del flusso dell'olio all'interno del circuito idraulico.

Per il suo funzionamento, il sistema utilizza due diverse tipologie di elettrovalvole idrauliche, descritte in questa sezione:

- L'*elettrovalvola ON/OFF* che, analogamente ad un interruttore elettrico, presenta solamente due condizioni operative: chiusa o aperta;
- L'*elettrovalvola ad apertura proporzionale* la quale è in grado di regolare il flusso dell'olio a seconda del segnale che le viene inviato.

### 4.2.1 Elettrovalvola ON/OFF

L'elettrovalvola riprodotta in Fig.4.4 permette il passaggio dell'olio in risposta ad un segnale elettrico fornito dalla centralina di controllo MC 50-10. Questo dispositivo è in grado di supportare due stati di funzionamento: può bloccare totalmente il percorso del circuito idraulico oppure, in maniera opposta, lo può lasciare completamente libero consentendo il normale flusso dell'olio.



Figura 4.4: In figura è riprodotta l'elettrovalvola ON/OFF prodotta dalla Sauer-Danfoss e utilizzata nel sistema di controllo dell'altezza di taglio.[8]

Il funzionamento di questo tipo di elettrovalvole si basa sull'attrazione magnetica che un solenoide attraversato da corrente esercita sul materiale fer-

roso. Come mostrato in Fig.4.5a se il solenoide si trova in posizione di riposo, cioè non è attraversato da una corrente elettrica, non è presente nessun campo magnetico che possa attrarre l'elemento occludente. Al contrario, quando viene fatta passare una corrente all'interno delle spire si instaura un campo magnetico che è in grado di muovere l'otturatore consentendo il passaggio del fluido attraverso il condotto di decompressione (Fig.4.5b). In questo modo si viene a creare una differenza di pressione che solleva il diaframma consentendo l'apertura della valvola.

Quando il flusso di corrente si interrompe, il campo magnetico viene a cessare e l'otturatore ritorna alla sua posizione di riposo e la pressione del fluido porta all'abbassamento del diaframma con la conseguente chiusura della valvola.

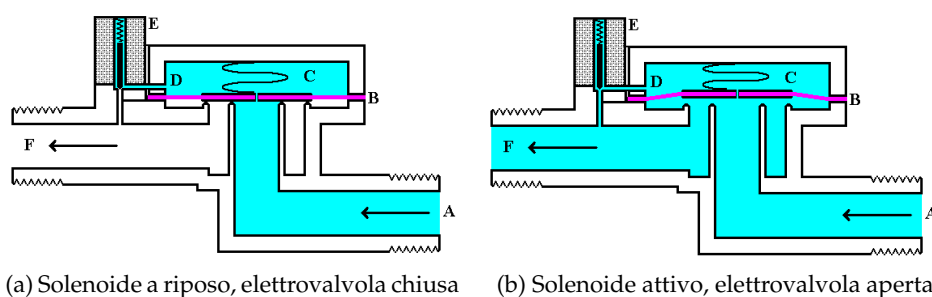


Figura 4.5: Rappresentazione schematica del principio di funzionamento dell'elettrovalvola ON/OFF dove l'eccitazione del solenoide consente il passaggio del fluido.[9]

A	Ingresso	D	Condotto di decompressione
B	Diaframma	E	Solenioide
C	Camera di compressione	F	Uscita

Le specifiche funzionali delle elettrovalvole ON/OFF utilizzate nel sistema di controllo dell'altezza di taglio sono riassunte nella Tab.4.3

Tensione di Alimentazione	12 Vdc
Corrente Nominale	1740 mA
Potenza Nominale	20 W

Tabella 4.3: Nella tabella sono evidenziate le caratteristiche di funzionamento dell'elettrovalvola ON/OFF prodotta dalla Sauer-Danfoss.[8]

### 4.2.2 Elettrovalvola ad Apertura Proporzionale

La Fig.4.6 illustra l'elettrovalvola ad apertura proporzionale utilizzata nel sistema di controllo dell'altezza di taglio. Essa è in grado di regolare il flusso all'interno del circuito idraulico in relazione alla corrente con cui viene pilotato. In questo modo sono disponibili diversi stati di lavoro, ognuno dei quali è caratterizzato da un'apertura diversa della valvola e quindi da una diversa portata del flusso che vi passa attraverso.



Figura 4.6: In figura è riprodotta l'elettrovalvola ad apertura proporzionale prodotta dalla Sauer-Danfoss e utilizzata nel sistema di controllo dell'altezza di taglio.[10]

Il principio su cui si basa il funzionamento delle elettrovalvole proporzionali le accomuna a quelle ON/OFF. Anche per questi dispositivi, infatti, è necessaria la presenza di un campo magnetico generato da una corrente che scorre all'interno di un solenoide.

Con riferimento alla Fig.4.7, il controllo proporzionale dell'apertura e chiusura delle valvole è ottenuto mediante una regolazione progressiva della corrente delle bobine. L'aumentare della corrente nel solenoide conduce ad una crescita della forza di attrazione esercitata dal campo magnetico elettrogeno che, ad un certo punto, supererà la forza elastica di reazione della molla di chiusura. Ciò consente il sollevamento dell'armatura e l'apertura dell'otturatore (situato nella membrana) che ne segue il movimento.

Mediante la regolazione progressiva della corrente della bobina, l'armatura può essere posizionata in qualsiasi punto del condotto e la valvola a sua volta può essere situata in qualsiasi posizione, da completamente chiusa (corrente nulla all'interno del solenoide) a completamente aperta (massimo valore di corrente all'interno del solenoide).

La quantità di corrente è fornita attraverso l'invio di un segnale modulato in larghezza d'impulso (PWM).

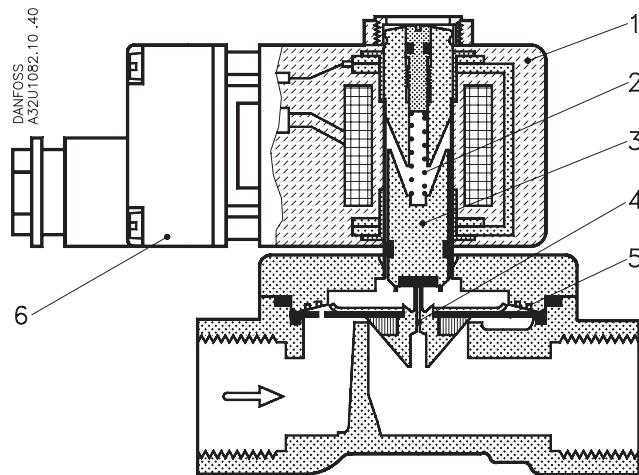


Figura 4.7: La figura riporta in maniera schematica il principio di funzionamento di un'elettrovalvola idraulica ad apertura proporzionale.[11]

- |                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| 1 Bobina            | 4 Otturatore          |
| 2 Molla di chiusura | 5 Membrana            |
| 3 Armatura          | 6 Scatola morsettiera |

L'elettrovalvola ad apertura proporzionale utilizzata per il controllo dell'altezza di taglio è prodotta dall'azienda Sauer-Danfoss. Le sue principali caratteristiche di funzionamento sono riportate nella Tab.4.4

Tensione di Alimentazione	12 Vdc
Corrente Nominale	1740 mA
Potenza Nominale	20 W
Range di frequenze PWM	100 ↔ 200 Hz

Tabella 4.4: Nella tabella sono evidenziate le caratteristiche di funzionamento dell'elettrovalvola ON/OFF prodotta dalla Sauer-Danfoss.[10]

### 4.3 Microcontrollore MC 50-10

Il microcontrollore MC 50-10 è un controllore logico programmabile prodotto dalla Sauer-Danfoss. Esso è in grado di elaborare dei segnali esterni (analogici e digitali) secondo una logica definita dal progettista e di comandare le elettrovalvole per muovere la testata della mietitrebbiatrice.

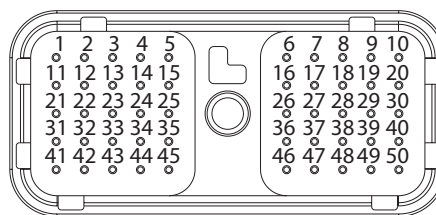
In questa sezione verranno analizzate le sue caratteristiche di funzionamento ed il software di sviluppo necessario per definire la logica che il microcontrollore deve seguire nell'elaborazione dei segnali.

#### 4.3.1 Specifiche Funzionali

L'elaborazione dei segnali elettrici provenienti dai sensori e dai comandi manuali è affidata al microcontrollore prodotto dall'azienda statunitense *Sauer-Danfoss Inc.* e chiamato MC 50-10. Quest'ultimo, rappresentato in Fig.4.8a, impiega un DSP<sup>2</sup> ed una memoria EEPROM interna da 256 Kbyte. La presenza della memoria interna consente di salvare le istruzioni da far eseguire al microprocessore e, eventualmente, di aggiornarle rendendo il dispositivo continuamente programmabile.



(a) Immagine della MC 50-10



(b) Rappresentazione schematica del connettore della MC 50-10

Figura 4.8: Il microcontrollore MC 50-10.[12]

La centralina è in grado di funzionare con una tensione continua che può variare dai 9 ai 36 Volt, risultando quindi adatta alle applicazioni per automotive. Inoltre, essa stessa fornisce la tensione (+5 Vdc) ed il riferimento di massa ai sensori utilizzati dal sistema ed è in grado di alimentare direttamente le elettrovalvole che pilota riuscendo ad erogare una quantità sufficiente di corrente.

<sup>2</sup>Il DSP (dall'inglese *Digital Signal Processor*) è un microprocessore ottimizzato per eseguire in maniera estremamente efficiente sequenze di istruzioni ricorrenti (come ad esempio somme, moltiplicazioni e traslazioni) nel condizionamento di segnali digitali. I DSP utilizzano un insieme di tecniche, tecnologie, algoritmi che permettono di trattare un segnale continuo dopo che è stato campionato.



La Fig.4.8b, che riporta la rappresentazione schematica del connettore utilizzato dalla MC 50-10, mostra come il microcontrollore sia in grado gestire fino a 50 segnali diversi. Ogni pin presente nel connettore è in grado di lavorare solamente con determinati tipi di segnali per cui, in fase di progettazione, è necessario conoscere le caratteristiche di ogni piedino per garantire il corretto funzionamento della centralina di controllo. Queste proprietà, definite dal costruttore, sono riassunte nella Tab.4.5.

Pin	Tipologia	Pin	Tipologia
C1-P1	Power Ground -	C1-P26	DIN/AIN/FreqIN
C1-P2	Power Supply +	C1-P27	AIN/Rheo
C1-P3	CAN 0 +	C1-P28	AIN/Rheo
C1-P4	CAN 0 -	C1-P29	AIN/Rheo
C1-P5	AIN/Schermo CAN 0	C1-P30	AIN/Rheo
C1-P6	DIN	C1-P31	DOUT
C1-P7	DIN	C1-P32	DOUT
C1-P8	5 Vdc Sensori	C1-P33	DOUT
C1-P9	0 Vdc Sensori	C1-P34	DOUT
C1-P10	DIN	C1-P35	DOUT
C1-P11	DIN	C1-P36	DOUT
C1-P12	DIN	C1-P37	PWMOUT/DOUT
C1-P13	DIN	C1-P38	PWMOUT/DOUT
C1-P14	DIN/AIN	C1-P39	PWMOUT/DOUT
C1-P15	DIN/AIN	C1-P40	PWMOUT/DOUT
C1-P16	DIN/AIN	C1-P41	PWMOUT/DOUT
C1-P17	DIN/AIN	C1-P42	PWMOUT/DOUT
C1-P18	DIN/AIN/FreqIN	C1-P43	PWMOUT/DOUT
C1-P19	DIN/AIN/FreqIN	C1-P44	PWMOUT/DOUT
C1-P20	CAN 1 +	C1-P45	PWMOUT/DOUT
C1-P21	CAN 1 -	C1-P46	PWMOUT/DOUT
C1-P22	AIN/Schermo CAN 1	C1-P47	Power Supply +
C1-P23	DIN/AIN/FreqIN	C1-P48	Power Supply +
C1-P24	DIN/AIN/FreqIN	C1-P49	Power Supply +
C1-P25	DIN/AIN/FreqIN	C1-P50	Power Supply +

Tabella 4.5: Funzione dei pin a disposizione nella centralina di controllo MC 50-10. Il caso di più funzioni attribuibili ad un singolo pin sta ad indicare che quest'ultimo è in grado di svolgerle singolarmente dopo essere stato coerentemente programmato. La descrizione delle funzioni è riportata nella Tab.4.6.[12]

### 4.3.2 Plus+1 GUIDE: il Software di Sviluppo

La centralina MC 50-10 è esclusivamente programmabile attraverso il software *Plus+1 GUIDE*, sviluppato anch'esso dalla *Sauer-Danfoss*. Come definito nel nome stesso del software (*GUIDE*: Graphical User Integrated Development Environment), esso è un ambiente di sviluppo grafico che consente di creare la logica di controllo che lavora all'interno del processore programmabile. La funzione logica è creata attraverso il collegamento di diversi simboli grafici che rappresentano diverse tipologie di funzioni combinatorie e sequenziali.

Di seguito verranno descritti gli elementi grafici, attraverso i quali è possibile realizzare le funzioni logiche che stanno alla base del programma da implementare sul microcontrollore, e l'organizzazione interna del software che consente di ordinare gli elementi in una struttura gerarchica facilitandone la progettazione e l'analisi del programma finale.[13]

#### Gli Elementi Grafici

Alla base dello sviluppo di un programma software attraverso l'utilizzo del *Plus+1 GUIDE* vi è l'utilizzo di particolari elementi grafici, ognuno dei quali rappresenta una particolare funzione logica svolta dal programma. Attraverso il loro reciproco collegamento è possibile creare espressioni più complesse in modo da riuscire ad elaborare in maniera articolata un maggior numero di segnali.

Nella Fig.4.9 è rappresentata una struttura realizzata connettendo fra loro diversi elementi logici presenti nel database del software di sviluppo in modo da creare una funzione complessa. I componenti utilizzabili, infatti, sono contenuti in una raccolta presente all'interno dell'ambiente di sviluppo.

Attraverso un menù a tendina laterale, è possibile trascinare gli elementi logici all'interno della pagina di lavoro per essere posizionati nella posizione ritenuta più opportuna dal progettista. La struttura di questa lista suddivide i componenti in categorie che raggruppano quelli con caratteristiche simili. Si ottengono, quindi, diversi tipi di gruppi:

- *Matematica*: racchiude le funzioni aritmetiche di somma, sottrazione, moltiplicazione, divisione (assieme al resto) e valore assoluto oltre che a quelle trigonometriche di seno, coseno, tangente e le rispettive funzioni inverse. Inoltre è presente una funzione che permette di scalare un segnale rispetto a due valori di riferimento;
- *Limiti*: contiene i componenti in grado di restituire il minore o il maggiore fra due segnali in ingresso oppure quello che assume il valore centrale se i segnali in ingresso sono tre. Inoltre è presente un elemento che consente di limitare il dato all'interno del range in cui può assumere valori evitando così problemi di overflow;

Tipologia	Descrizione
Power ground -	Ingresso dell'alimentazione collegato a massa
Power supply +	Ingresso dell'alimentazione a corrente continua la cui tensione può variare da 9 a 36 V
CAN 0 +	Ingresso logico alto delle rete CAN-Bus 0
CAN 0 -	Ingresso logico basso delle rete CAN-Bus 0
Schermo CAN 0	Uscita collegata alla schermatura del cavo di comunicazione CAN-Bus
CAN 1 +	Ingresso logico alto delle rete CAN-Bus 1
CAN 1 -	Ingresso logico basso delle rete CAN-Bus 1
Schermo CAN 1	Uscita collegata alla schermatura del cavo di comunicazione CAN-Bus
DIN	Ingresso digitale in tensione configurabile come <i>attivo alto</i> (5Vdc), <i>attivo basso</i> (0Vdc) oppure <i>attivo al centro</i> (2.5Vdc)
AIN	Ingresso analogico in tensione configurabile per poter lavorare negli intervalli 0-5.25 Vdc oppure 0-36 Vdc. Nel caso in cui il pin possa svolgere anche le funzioni identificate come <i>schermo CAN 0/1</i> e <i>Rheo</i> l'unico intervallo di lavoro concesso è quello tra 0 e 5.25 Vdc
FreqIn	Ingresso analogico che riconosce la frequenza del segnale in ingresso in un intervallo compreso tra 1 Hz e 10 kHz
Rheo	Ingresso analogico che riconosce la variazione della resistenza d'ingresso entro un valore compreso tra 0 e 10 kΩ
DOUT	Uscita digitale configurabile come sorgente o pozzo in grado di erogare una corrente di 3 A. Nel caso in cui il pin possa svolgere solo la funzione di uscita digitale quest'ultima potrà essere configurata solo come sorgente.
PWMOUT	Uscita analogica la cui ampiezza può essere modulata da 30 a 4000 Hz ed in cui la tensione e la corrente possono essere controllate.
5 Vdc Sensori	Fonte di potenza a 5 Vdc e 450 mA per i sensori collegati alla centralina
0 Vdc Sensori	Alimentazione dei sensori posta a massa

Tabella 4.6: Descrizione delle tipologie di pin presenti nella centralina di controllo MC 50-10

- *Confronto*: le sue unità permettono di comparare i segnali in ingresso producendo dei valori booleani. Con queste funzioni, quindi, si è in grado di valutare se un dato è maggiore, minore, uguale o non uguale ad un'altro della stessa tipologia;
- *Costanti*: gli elementi contenuti in questa sezione non rappresentano funzioni logiche ma delle costanti funzionali al loro corretto utilizzo. Si trovano, infatti, le costanti booleane che possono essere usate solamente su componenti che implementano questo tipo di operazioni oppure la costante numerica zero che viene usata con i dati interi;
- *Logica*: qui sono presenti gli elementi che implementano le funzioni logiche che possono essere usate all'interno dell'ambiente di sviluppo. Essi si dividono in:
  - Logica combinatoria, che comprende le porte AND (da 2 a 8 bit), OR (da 2 a 8 bit), XOR e NOT oltre che le funzione di AND, OR e XOR bit a bit. Inoltre sono implementate le funzione di conteggio dei bit e di indicazione della posizione del MSB e del LSB;
  - Logica sequenziale, attraverso l'utilizzo di shift register o latch e flip-flop che consentono di essere settati e resettati.
- *Interruttori, Contatori e Memorie*: in questo gruppo, sono racchiusi i componenti che lavorano come switch e che possono essere comandati da un segnale booleano o intero (da 2 a 16 ingressi). Trovano posto, inoltre, i contatori dei fronti di salita e discesa di un segnale assieme alle memorie volatili azionabili attraverso impulsi booleani;
- *Array*: contiene tutte le funzioni in grado di interagire con un array di dati. Trovano perciò posto le funzioni che consentono la generazione, la copia, la modifica e la cancellazione di un array oppure una ricerca tra i suoi elementi;
- *Conversione dei Dati*: in questo gruppo sono inserite le funzioni che agiscono sui dati di tipo intero modificandone il valore attraverso delle operazioni che agiscono sul tipo di dato. Vi sono racchiusi elementi che scindono a metà un segnale intero (dividendo i bit più significativi da quelli meno significativi) e producendo due nuove entità oppure altri che costruiscono un nuovo dato a partire da due interi. Inoltre sono presenti i decoder, gli encoder e la funzione che inverte la posizione dei bit all'interno del segnale;
- *Transizioni, Tempo*: contiene i componenti che eseguono o rilevano transizioni di valore oppure agiscono sul cammino e sul tempo del segnale. Tra i primi rientrano gli elementi che generano un impulso in presenza di fronti di salita e/o discesa, generano onde quadre i cui parametri possono

venire impostati dal progettista oppure impulsi di durata definita. Del secondo gruppo fanno parte le unità che ritardano l'uscita del segnale e che misurano la durata di un periodo;

- *Connessioni:* qui sono racchiusi gli elementi che consentono l'interfacciamento con unità di lavoro esterne al sistema. Sono presenti checkpoint che rilevano il valore del segnale e che, in questo modo, può essere visualizzato attraverso l'ausilio del tool di test messo a disposizione che è anche in grado di interagire con il sistema, pur in assenza di stimoli sui pin della centralina, consentendo di modificare in tempo reale le grandezze dei segnali interni attraverso appositi componenti contenuti in questo gruppo. Inoltre sono presenti le memorie non volatili che, utilizzando parte della memoria flash interna al microcontrollore, mantengono il dato memorizzato anche quando viene tolta l'alimentazione al microcontrollore.

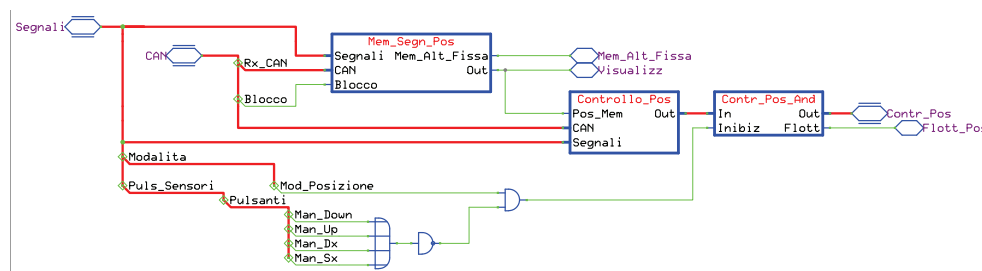


Figura 4.9: La figura riporta una pagina prodotta utilizzando l'ambiente di sviluppo Plus+1 GUIDE. In questo esempio sono presenti alcuni degli elementi grafici che rappresentano delle funzioni logiche combinatorie, come le porte AND, la porta OR e l'inverter. Si può notare la diversità dei collegamenti: i fili sono evidenziati in verde mentre i bus, di spessore maggiore, sono caratterizzati dal colore rosso. La struttura del programma è messa in evidenza dalla presenza di tre pagine in grado di interfacciarsi con gli altri elementi e di raggrupparli al loro interno.

## L'Organizzazione e i Collegamenti

I diversi elementi grafici devono essere connessi tra loro per dar vita a funzione logiche prevedendo il passaggio dell'informazione da un elemento ad un altro. Inoltre, per semplificare la progettazione e la visualizzazione del programma, le diverse strutture realizzate possono essere raggruppate in blocchi che necessitano di comunicare fra loro. Il software di sviluppo mette a disposizione due tipi diversi di collegamenti: il *filo* ed il *bus*.

Il filo, che in Fig.4.9 è rappresentato da una sottile linea verde, rappresenta l'elemento minimo che può creare un raccordo fra due diversi componenti del programma in quanto è in grado di trasportare solamente un segnale alla volta.

La necessità di comunicare una grossa mole di dati è soddisfatta dai bus, indicati in Fig.4.9 da una linea rossa più spessa, i quali possono contenere più fili al loro interno. I bus, quindi, non trasportano direttamente il segnale ma gli elementi che sono in grado di farlo. Questo rende molto più agevole il lavoro del progettista in quanto è possibile muovere una grande quantità di informazioni solamente con un numero ridotto di elementi di collegamenti.

Ogni bus ed ogni filo presenti all'interno del programma devono essere identificati univocamente. Per questo è lasciata libera scelta al progettista di scegliere il nome più opportuno in modo da semplificare l'analisi del software.

La filosofia realizzativa che sta alla base di questo ambiente di sviluppo si basa sul raggruppare in pagine le strutture di simboli grafici e di organizzare i blocchi così ottenuti secondo un'architettura gerarchica. Questo facilita la realizzazione di software complessi, permettendo di suddividere il codice in diverse sottosezioni più semplici da ideare e testare. La struttura che si viene a creare, quindi, conferisce al sistema un'organizzazione piramidale in cui i blocchi al vertice contengono prevalentemente altre pagine mentre, mano a mano che si scende verso la base, i contenuti operativi (elaborazione dei segnali esterni, comando delle elettrovalvole) diventano predominanti.

### 4.3.3 Protocollo CAN-Bus

Il controllo delle funzionalità operative della mietitrebbiatrice (i giri dell'asso, l'altezza di taglio, il recupero del prodotto, apertura del controbattitore, etc...) è affidato ad appositi microcontrollori disposti in diversi punti della macchina. La complessità della struttura di quest'ultima, però, non consente a nessuna centralina di provvedere da sola al recupero dei segnali necessari al proprio funzionamento. La possibilità di uno scambio di informazione fra i vari controllori è reso possibile dal *protocollo CAN-Bus*

Il *Controller Area Network*, la cui struttura è illustrata in Fig.4.10, è noto anche con il nome di CAN-Bus e rappresenta uno standard seriale per bus di campo (principalmente in ambiente automotive), di tipo multicast, introdotto negli anni ottanta dalla tedesca Bosch, per collegare diverse unità di controllo elettronico (ECU). Il CAN è stato espressamente progettato per funzionare senza problemi anche in ambienti fortemente disturbati dalla presenza di onde elettromagnetiche.

Il bit rate può raggiungere 1 Mbit/s per reti lunghe meno di 40 m, mentre velocità inferiori consentono di raggiungere distanze maggiori (ad es. 125 kbit/s per 500 m).

Il CAN trasmette dati secondo un modello basato su bit dominanti e - recessivi, in cui i bit dominanti sono gli 0 logici ed i bit recessivi sono gli 1 logici. Se un nodo trasmette un bit dominante ed un altro un bit recessivo, il sistema seguirà il valore del bit dominante (realizzando una combinazione AND logico), come riportato in Tab.4.7

Trasmissione CAN			Porta AND		
	Dominante	Recessivo		0	1
Dominante	Dominante	Dominante	0	0	0
Recessivo	Dominante	Recessivo	1	0	1

Tabella 4.7: Intersecando i diversi casi che si possono verificare quando vengono trasmessi contemporaneamente due segnali in una linea CAN si ottiene la tabella di verità qui riportata. A fianco è illustrata la tabella di verità di una porta logica AND che mostra l'analogia fra lo 0 logico ed il bit recessivo e l'1 logico ed il bit dominante.

Con questa tecnica, quando viene trasmesso un bit recessivo, e contemporaneamente un altro dispositivo trasmette un bit dominante, si ha una collisione, e solo il bit dominante è visibile in rete (tutte le altre collisioni sono invisibili). In pratica avviene che un bit dominante è definito dalla generazione di una tensione fra i conduttori, mentre un bit recessivo è semplicemente ignorato. Si è così sicuri che ogni volta che si impone una differenza di potenziale, tutta la rete la rileva che si tratta di un bit dominante.

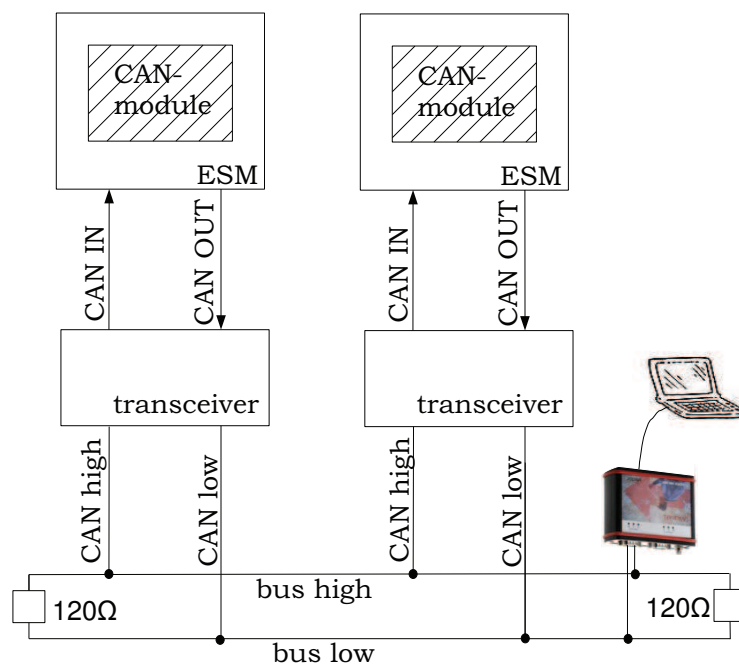


Figura 4.10: Lo schema riportato in figura rappresenta la struttura fisica di un sistema CAN-Bus. Si nota come esso sia formato da due fili (rispettivamente di valore logico alto e basso) i quali, alle due estremità, sono connessi da una resistenza da 120Ω. Le connessioni tra i diversi terminali e la rete devono avvenire in parallelo.

Se due o più dispositivi iniziano a trasmettere contemporaneamente, si applica un meccanismo di arbitrato basato sulla priorità per decidere a quale

dispositivo permettere di proseguire la trasmissione. Durante la trasmissione, ogni nodo in trasmissione controlla lo stato del bus e confronta il bit ricevuto con il bit trasmesso. Se un bit dominante è ricevuto mentre un bit recessivo è trasmesso il nodo interrompe la trasmissione (ossia perde l'arbitrato). L'arbitrato è eseguito durante la trasmissione del pacchetto dei dati di identificazione del nodo. I nodi che iniziano contemporaneamente a trasmettere inviano un ID dominante a 0 binario, che inizia con il bit alto. Non appena il loro ID è rappresentato da un numero più grande (quindi a priorità minore) i nodi stessi inviano un bit 1 (recessivo) ed aspettano la risposta di uno 0 (dominante), quindi interrompono la trasmissione. Al termine dell'invio degli ID, tutti i nodi sono tornati allo stato di OFF, ed il messaggio con la priorità corrente massima può liberamente transitare.[14] [15]

#### 4.3.4 Dispositivi periferici

Oltre ai sensori e alle elettrovalvole, sono presenti altri componenti del sistema che si interfacciano direttamente con la centralina: i pulsanti, gli interruttori ed il terminale video.

La cabina di guida è dotata di un display *touch screen* dal quale è possibile osservare e comandare i diversi parametri di lavoro e funzionamento della mietitrebbiatrice. Attraverso la rete CAN-Bus esso è in grado di comunicare con tutte le diverse centraline di controllo presenti nella macchina. Grazie a questo monitor l'utente è in grado di impostare alcuni parametri del sistema di controllo dell'altezza di taglio (come i valori di isteresi) e di visualizzare i dati provenienti dal microcontrollore.

Per consentire il controllo delle funzioni della mietitrebbiatrice, all'interno della cabina sono presenti una leva di comando ed una pulsantiera. Il potenziometro collegato al movimento della leva permette di regolare l'avanzamento ed il retromovimento della macchina, mentre nella pulsantiera troviamo comandi come gli interruttori per azionare i fari o per effettuare il brandeggio del tubo di scarico della granella. I comandi che consentono di agire sul controllo dell'altezza di taglio sono rappresentati in Fig.4.11:



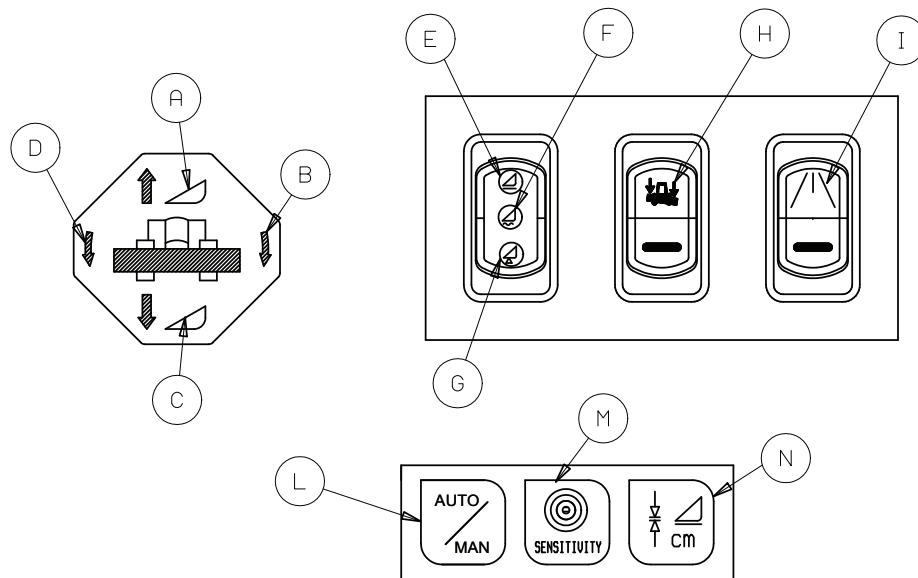


Figura 4.11: Rappresentazione schematica dei pulsanti e degli interruttori presenti all'interno della cabina e attraverso i quali l'operatore impartisce i comandi alla centralina.

- |  |   |
|--|---|
| A. Pulsante di sollevamento manuale della barra posto sul joystick                 | G. Interruttore di selezione delle modalità automatiche: <i>Galleggiamento</i>            |
| B. Pulsante di flottazione destra della barra posto sul joystick                   | H. Interruttore di attivazione della modalità <i>Flottazione Automatica</i>               |
| C. Pulsante di abbassamento manuale della barra posto sul joystick                 | I. Interruttore di attivazione della modalità <i>Strada</i>                               |
| D. Pulsante di flottazione sinistra della barra posto sul joystick                 | L. Pulsante di commutazione tra la modalità <i>Manuale</i> ed il funzionamento automatico |
| E. Interruttore di selezione delle modalità automatiche: <i>Altezza Fissa</i>      | M. Pulsante per la regolazione della sensibilità  |
| F. Interruttore di selezione delle modalità automatiche: <i>Altezza Automatica</i> | N. Pulsante per la memorizzazione dell'altezza o della pressione impostate                |



## Capitolo 5

---

# Il Lavoro di Sviluppo

---

### Indice

5.1	Introduzione . . . . .	43
5.2	Specifiche di Progetto . . . . .	44
5.3	Progettazione Hardware . . . . .	51
5.3.1	Lo Schema Circuitale . . . . .	52
5.3.2	Il Cablaggio . . . . .	57
5.4	Il Software di Controllo . . . . .	62
5.4.1	Il Lavoro di Realizzazione . . . . .	62
5.4.2	Il Codice . . . . .	63
5.5	Prove sul Campo . . . . .	88

## 5.1 Introduzione

In questo capitolo viene descritto il processo di progettazione e realizzazione del controllo dell'altezza di taglio della mietitrebbiatrice svolto durante il periodo di tirocinio presso la Laverda s.p.a. di Breganze.

L'attività nasce dall'esigenza dell'azienda di migliorare la qualità dei suoi prodotti, dotando le macchine di nuove funzionalità. Partendo da un know-how derivato da precedenti modelli che hanno riscontrato il favore degli acquirenti, si è voluto continuare sulla strada dell'innovazione per mantenere il passo con i competitors presenti sul mercato globale. Di conseguenza, la richiesta che arriva dall'azienda è quella di realizzare un prototipo che risponda alle caratteristiche volute e che funzioni rispettando le specifiche fornite.

Prima di iniziare il lavoro si è reso necessario uno studio preliminare per delineare e programmare i diversi momenti nei quali si sarebbe dovuto articolare l'intero progetto. Questo ha portato all'individuazione di quattro diverse fasi

di sviluppo, ognuna dotata della propria specificità ma strettamente connessa con le altre e necessaria per il raggiungimento dell'obiettivo finale:

1. Studio e comprensione delle caratteristiche funzionali del sistema fornite dall'azienda;
2. Progettazione dei componenti hardware;
3. Creazione del software dedicato;
4. Realizzazione del prototipo ed esecuzione dei test pratici sulla macchina.

Il presente capitolo, attraverso le sezioni di cui è composto, si occuperà di descrivere l'avanzamento del progetto attraverso le fasi che l'hanno caratterizzato.

## 5.2 Specifiche di Progetto

La base di partenza del progetto ha riguardato l'analisi delle caratteristiche funzionali che il sistema avrebbe dovuto assumere grazie a cui è stato possibile programmare le successive attività di sviluppo delle parti software e hardware. La corretta comprensione delle specifiche di progetto ha consentito all'intero progetto di evolversi senza interruzioni ed indesiderati cambiamenti in corso d'opera.

Le specifiche di progetto descritte nella presente sezione sono state fornite dalla Laverda s.p.a. e sono il frutto della decisione aziendale di proseguire nel miglioramento delle funzioni della macchina per andare incontro alle esigenze del cliente finale. Queste descrivono il comportamento che deve avere la mietitrebbiatrice e come quest'ultima si debba interfacciare con l'operatore, lasciando al progettista la facoltà di trovare le soluzioni realizzative (software o hardware) più idonee.

In questa sezione verranno esposte le caratteristiche che la *Laverda s.p.a.* ha richiesto per il sistema di controllo dell'altezza di taglio, suddividendo la descrizione in paragrafi per facilitarne la lettura.

### Priorità

Viene definita una scala di priorità in modo che, in caso di più comandi simultanei, il sistema sia in grado di scegliere che azione eseguire senza generare conflitti indesiderati. La Tab.5.1 riporta la sequenza che stabilisce la priorità da seguire nella trasmissione dei comandi nel caso in cui si presentino situazioni concomitanti.

- 
1. Comando manuale di sollevamento o abbassamento barra proveniente dai pulsanti sulla leva;
  2. Comando manuale di flottazione destra o sinistra della barra proveniente dai pulsanti sulla leva;
  3. Comando proveniente dal microinterruttore della retromarcia;
  4. Comando di sicurezza proveniente dal sensore di pressione;
  5. Comando proveniente dal sistema di controllo automatico dell'altezza;
  6. Comando proveniente dal sistema di controllo automatico della flottazione laterale.
- 

Tabella 5.1: Sequenza che stabilisce la priorità da seguire nella trasmissione dei comandi nel caso si presentino situazioni concomitanti.

### Modalità di Funzionamento del Sistema

Con riferimento alla Fig.4.11, attraverso il pulsante L è possibile far commutare il sistema dalla modalità manuale a quella automatica e viceversa in maniera sequenziale. All'accensione viene attivata, di default, la modalità *manuale* in cui il controllo a retroazione è disattivato e la gestione dell'altezza è lasciata completamente nelle mani dell'operatore.

Il sistema automatico di controllo è in grado di regolare l'altezza di taglio della mietitrebbiatrice attraverso tre differenti modalità di lavoro, mutuamente esclusive, definite come *altezza fissa*, *altezza automatica* e *galleggiamento*. La selezione tra queste avviene attraverso un selettore a tre posizioni (indicate con E, F e G in Fig.4.11) in modo che, in nessun caso, più di una modalità per volta possa venire attivata. In questo modo, attraverso l'attivazione del pulsante L, dalla modalità manuale si entra direttamente nella modalità automatica definita dalla posizione dell'interruttore a tre vie.

In modalità *altezza fissa* il sistema attiva un controllo a retroazione per mantenere costante l'altezza della barra di taglio che esso ricava dal sensore angolare posto sull'elevatore. In questo caso si ha un valore legato alla posizione della testata rispetto al corpo macchina e che non dipende dalle variazioni del terreno.

In modalità *altezza automatica*, invece, il sistema attiva un controllo a retroazione che mantiene costante l'altezza della barra di taglio che esso ricava dalla lettura dei sensori angolari posti sulle slitte tastatrici poste ai lati della testata. Così facendo si ottiene una posizione che è strettamente legata all'andamento del suolo. In caso di terreni particolarmente dissestati, in cui i sensori non rilevano la medesima altezza, il segnale che viene preso in considerazione dal sistema per svolgere la sua funzione di controllo e comando è quello che proviene dal lato della barra più vicino al terreno, e che indica quindi il valore minore.

La modalità di lavoro detta *galleggiamento* prevede che il controllo a retroazione mantenga costante il valore del segnale proveniente dal sensore della

pressione dell'olio nei martinetti idraulici. Grazie a ciò è possibile far lavorare la testata a distanze da terra molto ridotte, dove gli altri sensori sarebbero inutilizzabili.

Se viene premuto il pulsante di sollevamento barra (indicato con A in Fig.4.11) mentre una modalità automatica è attiva il sistema entra nella cosiddetta modalità *automatico disinserito* che equivale alla modalità di lavoro automatica selezionata differenziandosi però nel controllo a retroazione che, in questo caso, non è attivo. Per ritornare alla precedente modalità di lavoro automatica è sufficiente premere il pulsante di abbassamento della testata mentre se si aziona il pulsante L il sistema commuta in modalità *manuale*.

Inoltre, il sistema è in grado di controllare automaticamente anche la flottazione laterale della testata quando si trova in modalità *flottazione automatica* e, valutando la posizione delle slitte, deve essere in grado di mantenere la barra di taglio parallela al terreno. Questa modalità di lavoro è indipendente dal controllo dell'altezza (sia automatico che manuale) e viene attivata mediante un interruttore posto sulla pulsantiera di comando, e denotato con lettera H in Fig.4.11.

Infine, sempre con riferimento alla Fig.4.11, attraverso l'interruttore I è possibile attivare la modalità *strada* la quale esclude tutti i comandi di movimento della barra, sia automatici che manuali. Infatti, dato che la circolazione sulla rete stradale pubblica è ammessa anche con certi tipi di testata pieghevole, per ridurre l'ingombro, per ragioni di sicurezza viene impedita qualsiasi azione, anche involontaria, sulla barra.

La Tab.5.2 riporta un riassunto delle diverse modalità in cui sistema è in grado di lavorare e che sono state appena descritte.

### Visualizzazione dei Dati sul Display

Durante la modalità manuale o *automatico disinserito*, sul monitor deve apparire il dato proveniente dal sensore corrispondente allo stato di commutazione dell'interruttore di selezione delle modalità automatiche. La Tab.5.3 indica i valori che devono essere visualizzati sullo schermo quando il sistema si trova in modalità manuale in relazione alle diverse posizioni in cui si trova il commutatore di modalità.

In modalità di lavoro automatica, invece, il display deve visualizzare il valore memorizzato verso cui il sistema deve portarsi, indipendentemente dalla posizione della barra. Quindi, se viene selezionata la modalità *altezza fissa*, sul monitor verrà visualizzata l'altezza memorizzata anche se la testata non ha ancora raggiunto tale valore. Similmente accade per le altre due modalità automatiche dove verrà visualizzata l'altezza preimpostata relativa alle slitte tastatrici (in modalità *altezza automatica*) oppure la pressione della barra memorizzata (in modalità *galleggiamento*).

Tutti i valori delle altezze visualizzate sul display sono in *centimetri* mentre i valori di pressione sono riportati in *bar*.

Modalità	Descrizione
Manuale (*)	Il controllo a retroazione dell'altezza di taglio è disattivato e la gestione dell'altezza è lasciata completamente nelle mani dell'operatore
Altezza Fissa (*)	Il sistema attiva un controllo a retroazione per mantenere costante l'altezza della barra di taglio che esso ricava dal sensore angolare posto sull'elevatore
Altezza Automatica (*)	Il sistema attiva un controllo a retroazione che mantiene costante l'altezza della barra di taglio che esso ricava dalla lettura dei sensori angolari posti sulle slitte tastatrici poste ai lati della testata. Nel caso in cui i sensori non rilevino la medesima altezza, il segnale considerato è quello della slitta più vicina a terra
Galleggiamento (*)	Il sistema attiva un controllo a retroazione che mantiene costante il valore di pressione proveniente dal sensore della pressione dell'olio nei martinetti idraulici
Automatico Disinserito (*)	Equivalenza alla modalità di lavoro automatica selezionata ma si differenzia nel controllo a retroazione che, in questo caso, non è attivo
Flottazione Automatica	Il sistema attiva un controllo a retroazione che, valutando la posizione delle slitte, deve essere in grado di mantenere la barra di taglio parallela al terreno. Questa modalità di lavoro è indipendente dalle altre
Strada	Il sistema esclude tutti i comandi di movimento della barra, sia automatici che manuali

Tabella 5.2: Qui è presentato un riassunto delle modalità in cui il sistema di controllo dell'altezza di taglio è in grado di lavorare. Le modalità contrassegnate dall'asterisco (\*) sono mutuamente esclusive, quindi solo una di queste può, allo stesso momento, essere attiva.

Posizione Interruttore	Valore Visualizzato
E	Altezza registrata dal sensore angolare posto sull'elevatore
F	Altezza registrata dal sensore angolare posto sulla slitta che si trova più vicina al terreno
G	Pressione registrata dal sensore di pressione

Tabella 5.3: Valori visualizzati sul monitor di comando in modalità manuale. I valori visualizzati, riportati nella seconda colonna, dipendono dalla posizione dell'interruttore di selezione della modalità di lavoro, indicato nella prima colonna.

Inoltre, in modalità di funzionamento manuale sul monitor verrà visualizzata la scritta “OFF” quando i sensori angolari si trovano al di fuori del loro range di funzionamento (indicato dalle loro specifiche di progetto) oppure quando l’altezza della testata non è all’interno dei valori di lavoro impostati manualmente dall’utente.

Infine sul display deve poter essere visualizzata la modalità di lavoro attiva.

### Memorizzazione delle Altezze e della Pressione

La memorizzazione dei valori registrati dai sensori avviene solamente quando il sistema si trova in modalità manuale attraverso l’azionamento del pulsante indicato con N in Fig.4.11. In base alla posizione dell’interruttore di selezione delle modalità di lavoro, riportato in Fig.4.11 verrà memorizzato:

- Il valore registrato dal sensore angolare posto sull’elevatore, se il commutatore si trova in posizione E;
- Il valore registrato dal sensore angolare posto sulla slitta più vicina al suolo, se il commutatore si trova in posizione F;
- Il valore registrato dal sensore di pressione, se il commutatore si trova in posizione G.

Nel caso in cui si volessero memorizzare valori al di fuori dei range di funzionamento dei sensori o dei valori di lavoro preimpostati dall’utente il sistema memorizzerà i valori di soglia più vicini.

Per indicare che la memorizzazione è andata a buon fine il display dovrà lampeggiare per 4 secondi.

### Programmazione della Sensibilità

Il valore di sensibilità del sistema, inteso come tolleranza attorno al valore di riferimento memorizzato, viene controllato e modificato dall’utente attraverso i pulsanti posti nella cabina. Indipendentemente dal fatto che il sistema stia lavorando in modalità manuale o automatica, quando viene attivato il pulsante M illustrato in Fig.4.11, il sistema entra nella fase di modifica della sensibilità relativa alla modalità automatica selezionata visualizzando sullo schermo, per 1,5 secondi, il valore di sensibilità memorizzato.

Per le modalità *altezza fissa* e *altezza automatica* il valore di sensibilità è espresso in *centimetri* e può variare da 1 a 5. Dopo aver premuto il pulsante M ed aver visualizzato il dato di sensibilità memorizzato, ogni sua successiva attivazione aumenterà di una unità il valore mostrato dal monitor fino ad un massimo di “5”, oltre il quale il ciclo ricomincia dal valore “1”. Per non modificare inutilmente il comportamento del sistema nel controllare l’altezza di taglio, il valore memorizzato continua a rimanere costante anche se sul display



esso continua a variare. La scrittura in memoria del dato visualizzato sul display avverrà solamente dopo 1,5 secondi dall'ultima attivazione del pulsante M e, dopo tale operazione, il sistema uscirà automaticamente dalla fase di modifica della sensibilità tornando a mostrare il precedente valore di altezza.

Il valore della sensibilità per la modalità *galleggiamento* è invece espresso in percentuale relativa al valore di riferimento memorizzato ed il suo valore può variare da 1 a 10. Analogamente alle precedenti modalità, premendo il pulsante M il dato memorizzato viene visualizzato nel monitor ed il sistema entra nella fase di modifica della sensibilità. In questo caso però, per variare il valore sul display è necessario attivare, con riferimento alla Fig.4.11, il pulsante L per aumentare il dato visualizzato di una unità fino al valore massimo di 10, oltre al quale il ciclo è fatto ripartire da 1, ed il pulsante N per diminuirlo di una unità fino al valore minimo di 1, oltre al quale il ciclo è fatto ripartire da 10. Per le stesse motivazioni addotte nel controllo della sensibilità delle modalità *altezza fissa* ed *altezza automatica*, il valore memorizzato rimane sempre costante durante tutta la durata della procedura. Infatti, la scrittura in memoria del dato visualizzato sul display avviene solamente dopo 1,5 secondi dall'ultima attivazione del pulsante L o N, terminando la fase di modifica della sensibilità e permettendo al monitor di visualizzare nuovamente il precedente valore di pressione.

### **Impostazione dei Valori attraverso il Videoterminale**

Oltre a visualizzare i parametri della mietitrebbiatrice, il monitor presente all'interno della cabina consente all'utente di inserire alcuni valori necessari al corretto funzionamento del sistema. La centralina di controllo deve essere in grado di ricevere dal terminale video i seguenti dati:

- I valori delle isteresi che permettono di bilanciare l'inerzia del movimento della barra in ogni modalità automatica (flottazione verso sinistra e verso destra oltre che alle operazioni di sollevamento e abbassamento per ogni modalità automatica);
- Le altezze di soglia (massime e minime) relative ai sensori delle slitte e sull'elevatore che definiscono la zona di lavoro impostata dall'utente;
- L'altezza alla quale deve portarsi la barra di taglio, nel caso in cui venga inserita la retromarcia ed il sistema stia lavorando in modalità automatica
- La sensibilità che il sistema applica nel movimento di flottazione quando è attiva la modalità *flottazione automatica*;
- La presenza della barra di taglio.

### Accumulatori

Di norma gli accumulatori sono sempre attivi. Essi vengono disattivati:

- per 2 secondi quando una delle modalità automatiche viene selezionata;
- per 2 secondi quando viene premuto il pulsante di sollevamento della barra;
- per 2,5 secondi quando viene premuto il pulsante di abbassamento della barra;
- se il valore registrato dal sensore di pressione esce dall'intervallo  $\pm 5\%$  della pressione di soglia memorizzata (*Dumping Control*);
- quando la pressione registrata è inferiore alla metà della pressione memorizzata (barra assente), se è attiva la modalità strada;
- quando la pressione registrata supera i 180 bar, se è attiva la modalità strada e la pressione di soglia memorizzata è inferiore ai 150 bar.

### Comandi di Sicurezza

Per evitare che la barra venga comandata inavvertitamente, si deve consentire il movimento solamente in condizioni di motore avviato. Inoltre, quando il sistema si trova in modalità automatica, viene inviato un comando di sollevamento barra se:

- la pressione all'interno dei martinetti scende al di sotto del valore di soglia, che è stato precedentemente memorizzato. Il comando termina quando la pressione ritorna a valori ottimali, cioè sopra soglia;
- viene azionata la retromarcia. Il comando termina quando la barra raggiunge l'altezza preimpostata dall'utente, tramite interfaccia CAN-Bus, o comunque quando la retromarcia viene disinserita.

L'azione di sollevamento barra eseguita per ragioni di sicurezza deve avvenire alla massima velocità possibile.

### Calibrazione

Il processo di *calibrazione* consiste nel settare la centralina di controllo in modo che associ i valori reali di pressione e altezza ai diversi livelli di tensioni provenienti dai sensori. Per far questo vengono memorizzati i valori di tensione registrati quando la barra si trova in due differenti posizioni ad altezza nota. Per il sensore angolare posto sull'elevatore si memorizza la tensione a 10 e 60 cm dal suolo, per i sensori posti ai lati della barra si effettuano le misure

a 10 e 18 cm mentre per il sensore di pressione è sufficiente una sola misura a 10 cm d'altezza.

Per avviare l'operazione di calibratura, si agisce sulla chiave di accensione facendole eseguire il primo scatto. Successivamente si tengono premuti contemporaneamente i pulsanti di regolazione della sensibilità e di selezione automatico/manuale per almeno 3 secondi prima di eseguire il secondo scatto di chiave ed accendere così il motore. A questo punto il sistema è entrato in modalità di calibrazione e, premendo il pulsante di memorizzazione dell'altezza, vengono memorizzati, nell'ordine, i valori di tensione a 10, 18, e 60 cm dal terreno. Dopo aver memorizzato l'ultimo valore il sistema ritorna in modalità di lavoro manuale. Nel caso l'operatore compisse degli errori durante il procedimento (ad esempio, posizionasse la barra ad un'altezza non corretta), si deve spegnere la macchina e ripetere la procedura dall'inizio.

Questa è un'operazione che deve essere effettuata quando un nuovo tipo di barra viene montato sulla mietitrebbiatrice e per questo viene svolta raramente, nell'ordine di 1-2 volte all'anno.

### 5.3 Progettazione Hardware

Il movimento della testata avviene grazie all'ausilio di un impianto idraulico che trasmette la forza motrice alle strutture meccaniche e che è controllato da un sistema elettronico. Questo apparato hardware è composto da:

- 1- La centralina programmabile, che coordina e gestisce il funzionamento dell'intero sistema;
- 2- I sensori, che traducono dei valori fisici (come la posizione e la pressione) in segnali elettrici;
- 3- Le elettrovalvole, che consentono il movimento e permettono il passaggio dell'olio in pressione sotto il controllo di opportuni segnali elettrici;
- 4- I pulsanti e gli interruttori presenti all'interno della cabina con cui l'operatore è in grado di impartire i comandi al sistema.

Questi elementi vengono forniti da ditte esterne specializzate nella loro progettazione e realizzazione in modo da ottimizzare il rapporto qualità/prezzo a favore del cliente che acquista la mietitrebbiatrice finita. Il lavoro di progettazione hardware ha, quindi, riguardato lo sviluppo della parte finale del sistema, cioè:

- 5- I cavi e i connettori, grazie ai quali i diversi componenti possono venire collegati tra loro.

Il processo che porta alla realizzazione dei collegamenti fra i diversi componenti non può prescindere dalle caratteristiche dei diversi elementi che compongono il sistema. Per cui, prima di procedere con la progettazione del cablaggio della mietitrebbiatrice relativo al controllo dell'altezza di taglio si è dovuto procedere allo studio dello schema circuitale delle connessioni tra la centralina di controllo MC 50-10 e le diverse periferiche.

### 5.3.1 Lo Schema Circuitale

Lo schema circuitale rappresenta le connessioni elettriche dei vari componenti che compongono il sistema di controllo dell'altezza di taglio. Sono quindi indicati i contatti con l'alimentazione (la batteria a +12 V), con la massa (il telaio della macchina), con la linea CAN-Bus oltre che tra la centralina di controllo e le diverse periferiche, in modo da consentire un corretto funzionamento in fase di invio e ricezione dei dati e permettere la realizzazione di un programma software che possa essere efficacemente implementato. La progettazione dello schema circuitale, quindi, non può prescindere dalle caratteristiche della centralina e da quelle dei componenti periferici installati.

Infatti, come riportato in Tab.4.5, ogni singolo pin del microcontrollore non è in grado di svolgere tutte le funzioni di I/O che vengono richieste dai dispositivi esterni. Dopo aver analizzato le specifiche di progetto, riportate nella sezione 5.2, ed aver individuato i componenti necessari alla realizzazione del sistema di controllo, è possibile studiare le caratteristiche di quest'ultimi in modo da individuare, nella centralina, i pin più adatti a consentire una corretta interconnessione.

Per questo motivo, la prima scelta da operare riguardo ai componenti esterni, segue la netta divisione evidenziata dalle specifiche della centralina di controllo tra i pin in grado di inviare segnale e quelli in grado di riceverlo. Si possono perciò definire due categorie di periferiche: le *periferiche di input*, che inviano informazioni al microcontrollore e in cui rientrano i pulsanti, i sensori e gli interruttori e le *Periferiche di output*, che ricevono il segnale dal microcontrollore e di cui fanno parte le elettrovalvole.

La comunicazione con la centralina, però, deve avvenire attraverso un segnale che abbia le caratteristiche adatte a trasferire l'informazione necessaria al corretto funzionamento della periferica, introducendo un nuovo elemento di differenziazione che completa l'ordinamento dei componenti esterni secondo canoni corrispondenti alle specifiche del microcontrollore. Alla fine si ottiene la suddivisione delle periferiche secondo la tipologia di segnale utilizzato riportata nella Tab.5.4.

A questo punto si hanno tutti gli elementi per riuscire ad assegnare ad ogni periferica il pin che, secondo le specifiche riportate nella Tab.4.5, è in grado di garantire una comunicazione corretta. I risultati di questa fase sono riportati nella Tab.5.5 che evidenzia come ad ogni pin venga attribuita una specifica

	Input	Output
<b>Digitale</b>	Pulsanti Interruttori	Elettrovalvole ON/OFF
<b>Analogico</b>	Sensori	
<b>PWM</b>		Elettrovalvola Proporzionale

Tabella 5.4: La tabella riporta le periferiche utilizzate nel sistema di controllo dell'altezza di taglio suddivise secondo la tipologia di segnale utilizzato. Lungo l'asse verticale le periferiche vengono distinte tra quelle che inviano segnali al microcontrollore e quelle che lo ricevono, mentre lungo l'asse orizzontale la divisione è tra i diversi tipi di segnale utilizzato: digitale, analogico oppure modulato in larghezza (PWM).

funzione che consente di garantire il dialogo tra la MC 50-10 e la periferica assegnata.

Il passo successivo consiste nel procedere alla stesura dello schema circuitale, rappresentato in Fig.5.3, dove possano prendere posto le rappresentazioni simboliche di tutti i componenti del sistema e le loro connessioni per poi poter procedere alla creazione del cablaggio.

La base di partenza rimane il microcontrollore MC 50-10 dato che tutti i componenti si interfacciano con esso. Seguendo la disposizione dei pin, fissata precedentemente e riportata in Tab.5.5, è possibile rappresentare il connettore della centralina dal quale hanno origine tutti i suoi collegamenti (Fig.5.1).



Figura 5.1: Rappresentazione circuitale del connettore presente nella centralina di controllo MC 50-10. Ad ogni pin utilizzato è stato assegnato un simbolo in relazione al tipo di connessione (ricavabile dalla Tab.5.5) in modo da rendere più intuitiva la lettura dello schema circuitale nel suo complesso.

A questo punto si procede progettando i collegamenti della centralina con la rete di alimentazione presente nella mietitrebbiatrice connettendo i pin dedicati a massa (fornita dal telaio della macchina) e alla rete che fornisce tensione (12 V) al primo giro di chiave di avviamento (indicata con (1) in Fig.5.3). Di seguito si creano i collegamenti con quelle periferiche che non sono legate solamente al microcontrollore ed al sistema di controllo dell'altezza di taglio cioè con il *microinterruttore di retromarcia* (indicato con (2)) e con la rete *CAN-Bus* (indicata con (3)).

La fase successiva prevede la realizzazione delle connessioni con le periferiche interne al sistema di controllo la cui rappresentazione schematica è illustrata in Fig.5.2

Pin	Funzione	Periferica
C1-P1	Power	Power Ground -
C1-P2	Power	Power Supply +
C1-P3	Network CAN	CAN 0 +
C1-P4	Network CAN	CAN 0 -
C1-P6	Ingresso Digitale	Pulsante "Auto/Manuale"
C1-P7	Ingresso Digitale	Pulsante "Memorizzazione Altezza"
C1-P8	Power	Sorgente di Tensione (+5 V) per i Sensori
C1-P9	Power	Collegamento a Massa per i Sensori
C1-P10	Ingresso Digitale	Pulsante "Sensibilità"
C1-P11	Ingresso Digitale	Pulsante "Sollevamento Testata"
C1-P12	Ingresso Digitale	Pulsante "Abbassamento Testata"
C1-P13	Ingresso Digitale	Pulsante "Flottazione Destra"
C1-P14	Ingresso Digitale	Pulsante "Flottazione Sinistra"
C1-P15	Ingresso Digitale	Interruttore "Modalità Strada"
C1-P16	Ingresso Digitale	Interruttore "Modalità Altezza Fissa"
C1-P17	Ingresso Digitale	Interruttore "Modalità Altezza Automatica"
C1-P18	Ingresso Digitale	Interruttore "Modalità Galleggiamento"
C1-P19	Ingresso Digitale	Interruttore "Modalità Flottazione Laterale"
C1-P23	Ingresso Digitale	Interruttore "Inserimento Retromarcia"
C1-P24	Ingresso Analogico	Sensore Angolare Slitta Destra
C1-P25	Ingresso Analogico	Sensore Angolare Slitta Sinistra
C1-P26	Ingresso Analogico	Sensore Angolare Elevatore
C1-P27	Ingresso Analogico	Sensore Elevatore
C1-P31	Uscita Digitale	Elettrovalvola Sollevamento Testata
C1-P32	Uscita Digitale	Elettrovalvola Abbassamento Testata
C1-P33	Uscita Digitale	Elettrovalvola Comune
C1-P34	Uscita Digitale	Elettrovalvola Accumulatori
C1-P35	Uscita Digitale	Elettrovalvola Flottazione Destra
C1-P36	Uscita Digitale	Elettrovalvola Flottazione Sinistra
C1-P37	Uscita PWM	Elettrovalvola Proporzionale
C1-P47	Power	Power Supply +
C1-P48	Power	Power Supply +
C1-P49	Power	Power Supply +
C1-P50	Power	Power Supply +

Tabella 5.5: Disposizione dei pin nella centralina MC 50-10

Ora, collegando fra loro i vari componenti del sistema in modo da rispettare le loro specifiche funzionali, si ottiene una rappresentazione schematica dei componenti e delle interconnessioni di cui è composto il sistema per il controllo

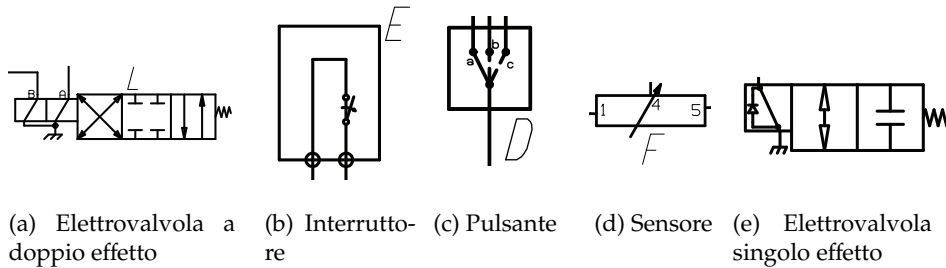


Figura 5.2: Nella figura sono indicate le rappresentazioni che i componenti del sistema per il controllo dell'altezza di taglio assumono nello schema elettrico.

dell'altezza di taglio, riportata in Fig.5.3, e che verrà usata per la progettazione e realizzazione dei collegamenti fisici.

In Fig.5.3 è rappresentato lo schema circuitale che mostra i collegamenti fra i vari componenti e ne evidenzia eventuali particolarità. Questo è il caso del collegamento CAN-Bus (che connette i pin "3" e "4" del microcontrollore con il punto (3)) che viene indicato in maniera intrecciata per segnalare che, in fase di realizzazione del cablaggio fisico, per il suo funzionamento potrà essere utilizzato solamente un cavo twistato e schermato. Sono inoltre presenti le leggende che illustrano il significato dei simboli associati ai diversi pin e che identificano le rappresentazioni schematiche con i componenti reali a cui si riferiscono.





### 5.3.2 Il Cablaggio

Dopo questo studio inizia la progettazione vera e propria del cablaggio del sistema attraverso la realizzazione di uno schema che dovrà essere analizzato e compreso dai cablatori che costruiranno fisicamente l'insieme di tubi e fili che permetteranno l'interconnessione tra i diversi componenti. Dato che persone esterne alla fase progettuale devono essere in grado di leggere correttamente lo schema costruttivo, quest'ultimo, più di ogni altra fase progettuale, deve essere realizzato seguendo una procedura ed un codice standard definiti all'interno dell'azienda. La procedura e i simboli di progetto, quindi, pur seguendo il solco di regole condivise a livello globale, seguono delle direttive costruttive definite dalla Laverda s.p.a. e dai suoi fornitori.

La rete di cavi e connettori necessari al collegamento fisico dei vari elementi del sistema di controllo dell'altezza di taglio rappresenta solamente una parte dell'intero cablaggio presente all'interno della mietitrebbiatrice e l'utilizzo di nuovi componenti ne ha richiesto la modifica.

#### Componenti del Sistema

Anche in questo caso, prima di iniziare la progettazione dello schema riportato in Fig.5.7 è necessario conoscere adeguatamente le specifiche funzionali dei componenti utilizzati per sapere che tipo di connettore dover utilizzare per ogni elemento del sistema. Sul mercato, infatti, sono presenti più tipi di attacchi che variano principalmente a seconda del costruttore e della funzione svolta dal componente. Ogni tipo di connettore risponde a specifiche esigenze di funzionalità in quanto deve consentire il collegamento del componente, prevedendo quindi un adeguato numero di ingressi e proteggendo le interconnessioni dalle condizioni dell'ambiente di lavoro. Un esempio di alcuni connettori utilizzati all'interno del sistema di controllo dell'altezza di taglio è riportato in Fig.5.4. Ogni connettore è etichettato in modo che, attraverso l'ausilio di una tabella, sia possibile risalire ad una sua descrizione ed al suo codice di riferimento aziendale.

#### Tabelle Descrittive

Lo schema elettrico di Fig.5.3 fornisce i punti di partenza e di arrivo di ogni connessione evidenziando i collegamenti fra i componenti. Ad ogni ingresso presente nei connettori viene assegnato un filo contrassegnato da:

- un colore;
- un valore di lunghezza (mm);
- un valore di sezione ( $\text{mm}^2$ );
- un codice univoco.

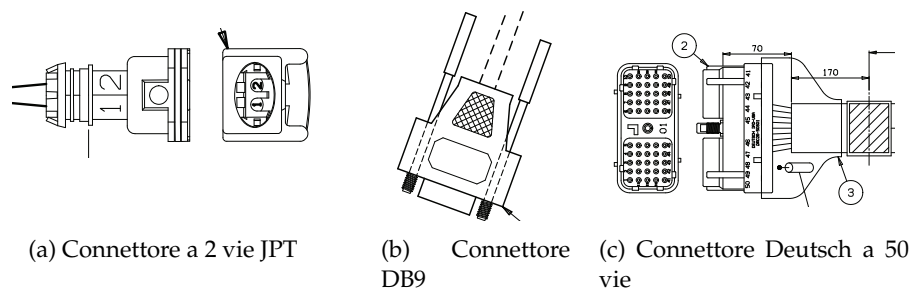


Figura 5.4: Nella figura sono indicate le rappresentazioni che i componenti del sistema per il controllo dell'altezza di taglio assumono nello schema elettrico.

In questo modo il filo è identificato univocamente all'interno dello schema. Per garantire la correttezza delle interconnessioni fra i componenti, ogni filo deve avere un unico punto di "origine" ed un unico punto di "fine" in modo che si possa verificarne facilmente il percorso diminuendo la possibilità di errori dovuti a connessioni multiple o collegamenti mancanti.

Seguendo questa procedura, all'interno dello schema vengono create delle tabelle che, poste accanto ad ogni connettore, mostrano i diversi fili in ingresso, indicati attraverso le loro quattro caratteristiche ed una breve descrizione. La Fig.5.5 mostra due tabelle, relative al sensore di pressione ed alla centralina di controllo MC 50-10, evidenziando la presenza dello stesso filo che permette, fisicamente, il passaggio del segnale dal sensore al microcontrollore.

Sensore Pressione

N°	COL.	SEZ.	LUNGH.	DESCRIZIONE	
1	M-H	0.5	2890	Gnd sens. press.	<b>T1</b>
2	R-V	0.5	3210	SEGNALE	<b>A1</b>
2	Z-C	0.5	2790	+5V Sensore press.	<b>Q1</b>

(a) Tabelle descrittiva del sensore di pressione

N°	COL.	SEZ.	LUNGH.	DESCRIZIONE	
26	C	0.5	1870	Sens. Ango. Posizione Barra	<b>Z</b>
27	R-V	0.5	3210	Sensore Pressione	<b>A1</b>
28	-	-	-	-	<b>-</b>

(b) Particolare della tabella descrittiva della MC 50-10

Figura 5.5: La figura presenta la tabella descrittiva delle interconnessioni del sensore di pressione (Fig.(a)) e un particolare di quella relativa alla centralina di controllo MC 50-10 (Fig.(b)). Si può notare come ogni filo sia indicato attraverso una breve descrizione e riportando la sua sezione, la sua lunghezza, il suo colore ed il suo codice univoco. Inoltre, il filo indicato con A1 svolge la funzione di connessione tra la centralina ed il sensore ed è perciò indicato solamente in queste tabelle, che riportano i medesimi valori descrittivi, e non è presente in nessuna altra parte dello schema.

### Giunzione Interna

La necessità di utilizzare una descrizione univoca per ogni collegamento, impone di evidenziare le giunzioni interne tra più fili che consentono di realizzare connessioni multiple. Soprattutto per quanto riguarda la rete di alimentazione che deve raggiungere più componenti del sistema, vengono realizzate delle giunzioni all'interno dei tubi corrugati, attraverso l'utilizzo del laser o di semplici nastrature, che consentono di generare più fili che conducono lo stesso segnale ma che danno origine ad un solo collegamento. Un esempio di giunzione interna è riportato in Fig.5.6.

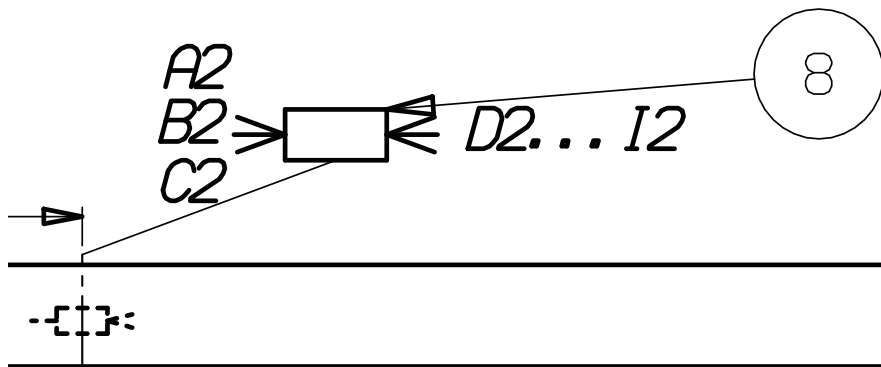


Figura 5.6: La giunzione interna viene descritta attraverso l'indicazione dei fili che la formano. L'esempio evidenziato in figura riporta la creazione di otto nuovi fili (che permettono altrettante connessioni) a partire da un cavo generatore che, nel caso specifico, conduce il riferimento di massa.

### Sezione del Filo

La sezione dei cavi viene definita tenendo in considerazione che ogni filo può sopportare una densità di corrente pari a  $6 \text{ A/mm}^2$ . Anche in questo caso, quindi, è necessario conoscere le specifiche funzionali degli elementi che compongono il sistema di controllo dell'altezza di taglio per far in modo che non si verifichi mai un eccesso di corrente. Conoscendo la potenza assorbita dal componente e valutando quanti dispositivi vengono alimentati attraverso un singolo filo quest'ultimo può venire correttamente dimensionato.

In questo modo si passa da fili con sezioni pari a 2.5 mm di diametro (come quello denominati R2 e U1 in Fig.5.7), i quali forniscono l'alimentazione ed il riferimento di massa a tutto il sistema, a fili con un diametro di 0.5 mm utilizzati per il trasporto dell'informazioni e quindi non interessati da elevati carichi di potenza. Inoltre, i fili molto lunghi che connettono componenti distanti tra loro (come le elettrovalvole e la centralina di controllo) hanno una sezione pari a 1 mm in modo da evitare il degradarsi del segnale.

### **Lunghezza del Filo**

Per conoscere la lunghezza dei fili e dei relativi tubi di copertura, invece, è necessario conoscere le dimensioni della mietitrebbiatrice sui cui andrà installato il cablaggio. In questo caso, dopo aver verificato la posizione dei vari componenti del sistema si è provveduto a misurare la distanza che intercorreva tra loro. Questo ha permesso di poter indicare le distanze tra i diversi elementi dello schema attraverso la creazione di quote opportune. La distanza che viene mostrata sulle tabelle, però, non corrisponde esattamente alla somma delle quote presenti lungo il percorso del filo ma viene maggiorata per tenere in considerazione le perdite di lunghezza durante la lavorazione.

### **Connessione CAN-Bus**

I test sulla macchina che verranno eseguiti su un prototipo richiedono di essere in grado di monitorare costantemente i valori interni del sistema. Inoltre, ipotizzando che la prima versione del software non risponda correttamente alle specifiche progettuali, vi è la necessità di poter installare velocemente il programma modificato all'interno del microcontrollore. Per questo è stata prevista la presenza di un connettore DB9 che permetta di collegare uno strumento esterno (come un computer) in modo da poter dialogare attraverso la rete CAN-Bus con la centralina MC 50-10.

Lo schema, a questo punto, si presenta completo e pronto per essere inviato ai cablatori. Tuttavia, nello schema per la realizzazione del cablaggio che è stato prodotto durante la progettazione del sistema di controllo dell'altezza di taglio e che è presentato in Fig.5.7 alcuni cavi sono riportati senza misura e le gunzioni interne sono prive di tabelle. Ciò è dovuto al fatto che, trattandosi di un progetto per la realizzazione di un prototipo, alcuni elementi del sistema non erano ancora definiti in fase progettuale ma necessitavano di misurazioni e aggiustamenti eseguiti in corso d'opera.

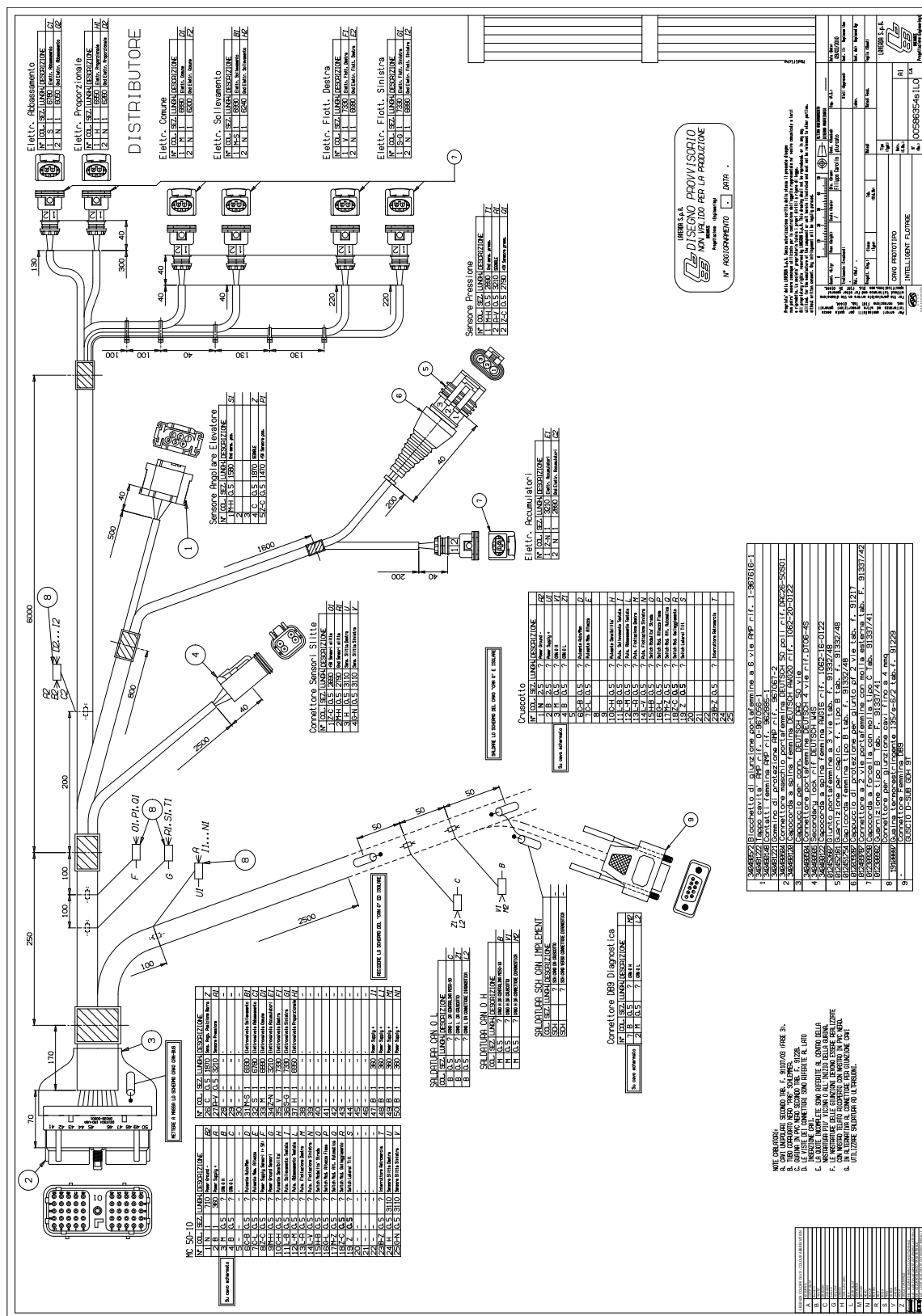


Figura 5.7: Cablaggio del sistema di controllo dell'altezza di taglio

## 5.4 Il Software di Controllo

### 5.4.1 Il Lavoro di Realizzazione

Allo sviluppo della componente software del sistema è stata dedicata la maggior parte del tempo trascorso all'interno della Laverda s.p.a. per lo svolgimento dell'esperienza di tirocinio. Come richiesto dalle specifiche progettuali, il sistema ha l'esigenza di eseguire determinate funzioni logiche in risposta ad opportuni segnali perciò si è resa necessaria la presenza di un microcontrollore e, di conseguenza, la realizzazione di un particolare software per la sua programmazione.

Il lavoro di progettazione della componente software si è articolato in due fasi distinte sul piano logico ma non su quello temporale:

1. Traduzione delle specifiche progettuali in funzioni logiche;
2. Realizzazione del programma attraverso la scrittura delle funzioni logiche secondo la grammatica del software *Plus+1 GUIDE*

Infatti, si è dovuto trovare un punto di contatto tra le specifiche funzionali del sistema di controllo dell'altezza di taglio, riportate nella sezione 5.2, ed il linguaggio del software *Plus+1 GUIDE*, perciò, dopo l'analisi delle specifiche progettuali, si è passati allo studio del manuale del software prodotto dalla *Sauer Danfoss*.

Dopo aver compreso la grammatica del software e la sua filosofia di lavoro, riportare nella sezione 4.3, si è potuto tradurre in funzioni logiche le funzionalità del sistema in modo da riuscire a realizzare il programma di controllo.

Il procedimento di traduzione delle specifiche, però, non è stato immediato. Dato che il software *Plus+1 GUIDE* è strutturato a livelli, si è dovuto cercare la giusta trasposizione per:

- Limitare la complessità di ogni singola pagina;
- Connettere in maniera adeguata tutti i livelli;
- Eseguire correttamente i comandi.

Questo ha richiesto settimane di lavoro in quanto tutta l'attività è stata svolta in maniera individuale e l'utilizzo del calcolatore era possibile solo per eseguire i test intermedi.

Operativamente, per la concezione del programma si è scelto di partire dai livelli di funzionamento più alti per poi scendere successivamente nei dettagli, seguendo quella che è la filosofia del software di sviluppo. Per questo, inizialmente, si è proceduto disegnando sulla carta diversi schemi che cercassero di prevedere una struttura gerarchica all'interno del software. Si è quindi provveduto a dar forma a diverse macrosezioni, interne al programma software e

accomunate dall'attività svolta, dentro alle quali, in seguito, sono state scritte le pagine di codice con funzione operativa.

Successivamente, la realizzazione del software di controllo si è svolta attraverso l'elaboratore. Seguendo gli schemi cartacei si è iniziato con lo scrivere le componenti principali del programma eseguendo di volta in volta dei test intermedi per verificarne il funzionamento virtuale. Una volta costruite le fondamenta, si è potuto procedere alla costruzione dell'intero sistema software aggiungendo via via funzionalità sempre più specifiche e dettagliate.

La realizzazione della parte software attraverso piccoli ampliamenti successivi ha permesso di controllare costantemente la funzionalità del programma e di modificare facilmente il progetto in corso d'opera in modo da riuscire a correggere eventuali errori progettuali che venivano evidenziati in fase di realizzazione.

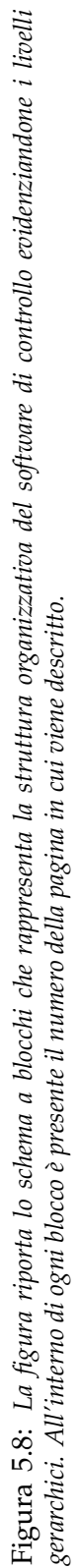
### 5.4.2 Il Codice

Come riportato nella sezione 4.3, il codice del software di sviluppo *Plus+1 GUIDE* è composto da elementi grafici che rappresentano determinate funzioni e che devono essere connessi tra loro attraverso fili o bus. Questi elementi sono poi strutturati in pagine che sono collegate l'una all'altra per formare uno schema gerarchico a livelli.

Nella progettazione di ogni blocco che compone il programma di controllo si è scelto di posizionare gli ingressi sul lato sinistro della pagina e le uscite sul lato destro in modo da consentirne una comprensione più immediata. Inoltre, anche la scelta dei nomi con cui descrivere i segnali interni al software ha seguito il criterio della massima comprensibilità in modo che il sistema possa essere analizzato facilmente non solo dal progettista.

In questa sezione viene analizzata la parte principale del codice che compone il software di controllo dell'altezza di taglio. Data la complessità dell'argomento ed il grande numero di blocchi realizzati, vengono qui descritte solamente le parti che consentono di svolgere la funzione principale del sistema cioè l'elaborazione dei segnali dei sensori per generare dei segnali che possano comandare le elettrovalvole. Una descrizione più dettagliata è fornita nell'appendice A, dove viene esposta la parte restante del codice che forma il programma.

Per facilitare la comprensione e l'analisi del software di controllo è stato creato uno schema, riportato in Fig.5.8, che rappresenta la struttura organizzata del programma mettendo in evidenza i collegamenti gerarchici. La descrizione dei diversi blocchi all'interno della tesi non segue l'ordine presente nello schema per cui, come spiegato dalla legenda interna alla figura, ad ogni blocco è associato un colore in modo da identificare la sezione in cui è esposto. Per facilitare ulteriormente la lettura è anche riportato il numero della pagina.





## Pagina Iniziale

◆ *Percorso:* Top

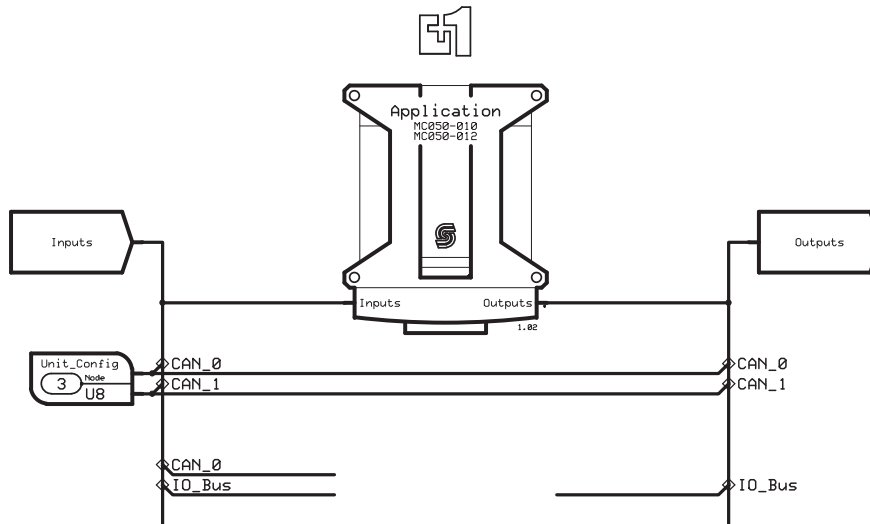


Figura 5.9: Rappresentazione del livello gerarchico più alto che contiene tutti i componenti del programma di controllo.

La Fig.5.9 mostra la pagina iniziale che si trova sul livello gerarchico più alto. Non presenta alcuna funzione operativa ma contiene tutti i componenti virtuali che formano il programma. Vi sono, pertanto, le pagine che comprendono gli ingressi e le uscite fisiche della centralina di controllo e del sistema CAN-Bus assieme alla pagina, raffigurata come una MC 50-10 stilizzata, che contiene il codice operativo del sistema.

Questa pagina rappresenta solamente il punto iniziale per l'esplorazione del codice, fornendo l'incipit per la struttura gerarchica di tutto il programma. Data l'importanza che ricopre riguardo all'organizzazione interna del programma, essa viene generata automaticamente dal software di sviluppo *Plus+1 GUIDE*.

Dato che le connessioni fra i vari elementi del software richiedono più fili virtuali, sono presenti solamente bus di collegamento che consentono all'informazione di essere disponibile in ogni parte del sistema.

## Ingressi

◆ *Percorso: Top → Inputs*

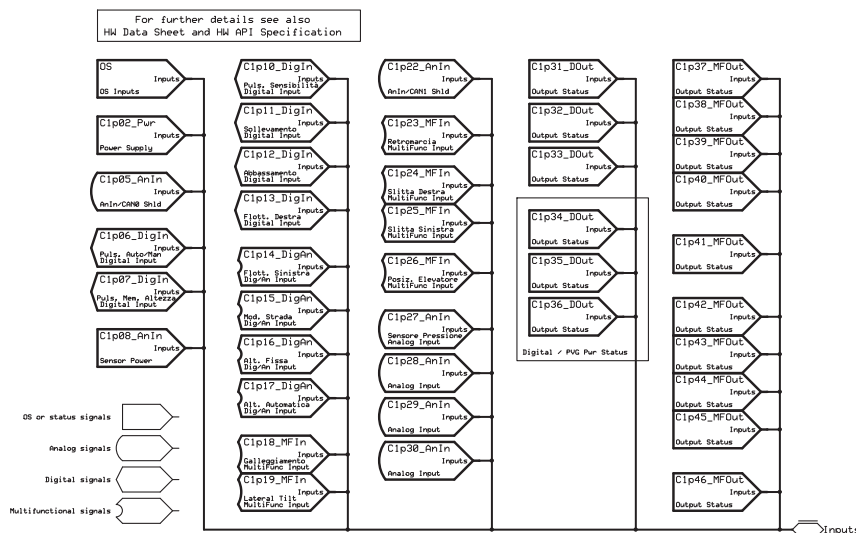


Figura 5.10: La fiugra riporta la pagina contenente i riferimenti fisici dei pin d'ingresso del microcontrollore MC 50-10. In basso a sinistra è riportata la legenda che illustra come a differenti forme delle pagine corrispondano diverse funzioni che il pin può svolgere.

Come la pagina iniziale, anche quella rappresentata in Fig.5.10 è generata automaticamente dal software di sviluppo. Essa contiene tutti i riferimenti ai pin d'ingresso della centralina di controllo MC 50-10 e genera un bus chiamato *Inputs* che serve a trasportare i segnali d'ingresso verso altri componenti del software.

Ogni singola pagina è caratterizzata dalla descrizione del pin a cui conduce il filo, virtuale, contenuto in essa. Ad esempio, *C1p14.DigAn* descrive un blocco che contiene il collegamento al piedino 14 presente nel connettore 1 (nel caso della MC 50-10 esiste solamente un connettore, altri modelli ne possono possedere anche due) e può lavorare con segnale *digitali* o *analogici*.

Inoltre, per facilitare la lettura, è stata inserita anche la funzione che il progettista ha associato ad ogni pin che, nel caso in esame, è *Flott. Sinistra* cioè l'ingresso del segnale per la flottazione laterale sinistra.

I blocchi presentano forme diverse a seconda delle modalità di funzionamento che i piedini a loro assegnati sono in grado di supportare. Come riporta la legenda in basso a sinistra in Fig.5.10, si possono distinguere quattro diversi tipi di piedini in base ai segnali che sono in grado di elaborare:

1. Sistema operativo e segnali di stato: trattano l'alimentazione, i segnali provenienti direttamente dall'interno della centralina di controllo (come

il segnale di clock) e i segnali di stato i quali hanno origine dai piedini d'uscita e che in questo modo vengono fatti rientrare nel sistema in modo da poter essere elaborati;

2. Segnali analogici: sono in grado di lavorare solamente con segnali che assumono una varietà di valori e che possono essere scalati in  $mV$  oppure in  $ohm$ ;
3. Segnali digitali: riconoscono solamente due soglie di valore, alta e bassa, nelle quali il segnale può essere definito attivo;
4. Segnali multifunzione: riescono a elaborare più di una tipologia di segnale. Si distinguono in:
  - Digitale/Analogico: possono lavorare solamente con segnale di tipo analogico o digitale;
  - Multifunzione: oltre ai segnali analogici e digitali descritti precedentemente, questo tipo di piedino è in grado di usare segnali sotto forma di frequenza e periodo oppure riconoscerne il duty cycle o la fase.

## Uscite

### ◆ Percorso: Top → Outputs

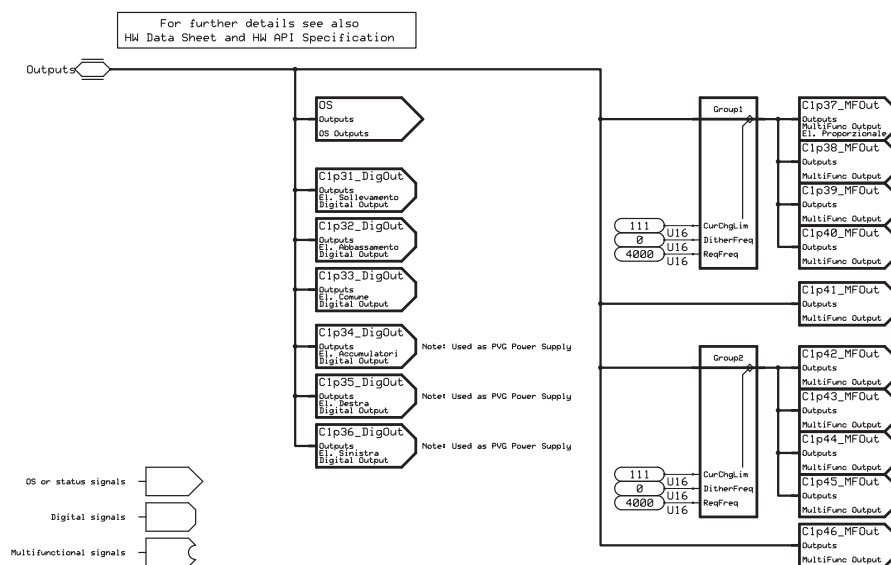


Figura 5.11: La figura riporta la pagina contenente i riferimenti fisici dei pin d'uscita del microcontrollore MC 50-10.

Analogamente agli ingressi, anche tutti i pin d'uscita del microcontrollore sono raccolti in un'unica pagina generata automaticamente e riportata in Fig.5.11. Il bus *Outputs* contiene al suo interno tutti i fili virtuali collegati ad ogni singolo piedino d'uscita. La descrizione presente su ogni blocco, e che identifica univocamente il piedino a cui è assegnato, è costruita seguendo lo stesso standard usato per le pagine che racchiudono i pin d'ingresso. Allo stesso modo, la forma dei blocchi ricalca i diversi tipi di segnale che i piedini sono in grado di elaborare. Come riporta la legenda in basso a destra in Fig.5.11, si possono distinguere tre tipologie di pin:

1. Sistema operativo: i segnali in uscita comandano direttamente il led rosso e quello verde presenti sulla centralina MC 50-10;
2. Segnali digitali: il segnale è definito solamente attraverso due soglie di valore, alta e bassa;
3. Multifunzione: sono in grado di lavorare con segnali digitali, modulati in PWM oppure su segnali analogici con il dithering. Il blocco in grado di elaborare anche quest'ultimo tipo di segnale è preceduto da una pagina in cui è possibile specificare i diversi parametri di lavoro.

## Applicazione

◆ *Percorso:* Top → Application

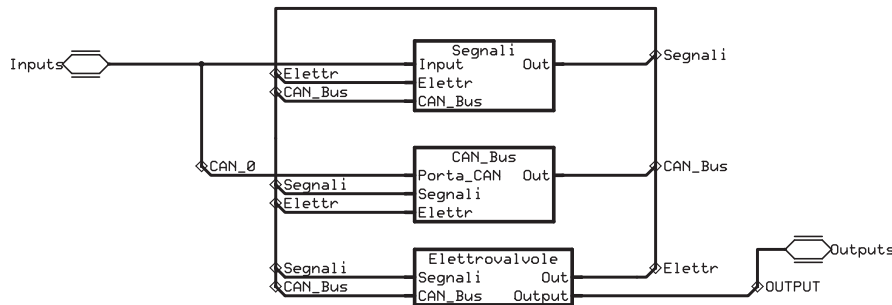


Figura 5.12: Blocco che racchiude tutte le funzioni operative del software di controllo.

Il cuore del programma di controllo si trova all'interno della pagina *Application*. Anche in questo caso, però, non vi è riportata alcuna attività operativa: il sistema viene ulteriormente suddiviso secondo le diverse funzioni. Si è scelto di raggruppare i compiti svolti dalla centralina di controllo in tre macrosezioni a seconda del tipo di lavoro svolto. Queste aree, riportate in Fig.5.12, sono identificate con:

- *Segnali*: comprende tutte le funzioni del microcontrollore che riguardano l'interfacciamento e l'elaborazione di segnali esterni. Infatti, il bus *Inputs*, che ha al suo interno tutti gli ingressi fisici del microcontrollore, entra solamente in questa pagina;
- *CAN-Bus*: gestisce l'interfacciamento con la rete CAN-Bus elaborando i dati in ingresso ed in uscita verso altre periferiche (come, ad esempio, il monitor);
- *Elettrovalvole*: elabora il segnale dei sensori per controllare le elettrovalvole attraverso il bus *Outputs* che contiene i segnali di comando delle uscite.

I bus che collegano le tre pagine consentono il passaggio di segnale tra le diverse sezioni in cui è diviso il software. In questo modo l'elaborazione del segnale proveniente dai sensori consente di generare il segnale di comando delle elettrovalvole.



Attraverso il bus *Elettrovalvole*, è possibile conoscere il valore del segnale *Motore\_Avviato* in modo da inibire determinate funzionalità del sistema che non sono richieste quando la macchina è spenta. Dal bus *CAN\_Bus*, invece, si ricavano le informazioni sulla presenza delle slitte, attraverso il segnale *Slitte\_Presenti*, e sull'altezza minima della testata (rilevabile dall'elevatore) impostata dall'utente, grazie al segnale *Posiz\_Min*.

L'unica uscita della pagina è rappresentata dal bus *Out* che racchiude le informazioni riguardanti la sensibilità e la modalità impostata oltre all'uscita del blocco *Puls\_Sensori* e al comando dell'elettrovalvola degli accumulatori.

### ◆ Pulsanti e Sensori

*Percorso:* Top → Application → Segnali → Puls\_Sensori

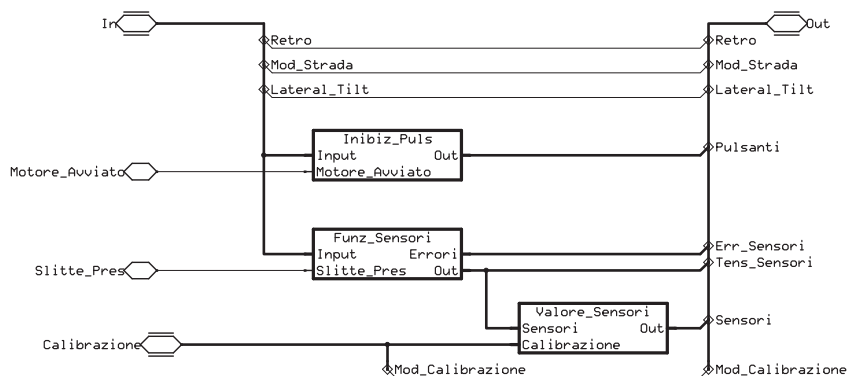


Figura 5.14: Il blocco *Puls\_Sensori* contiene la logica che consente di gestire i segnali esterni provenienti dai pulsanti e dai sensori.

La pagina *Puls\_Sensori*, raffigurata in Fig.5.14, rappresenta l'interfaccia del software di controllo con il mondo esterno. In essa infatti sono contenute tutte le funzioni che consentono di tradurre la tensione dei sensori nella grandezza fisica che questi misurano.

Il blocco *Inibiz\_Puls* inibisce il funzionamento dei pulsanti di movimento della barra e degli interruttori selezione delle modalità quando il motore è spento oppure quando il sistema si trova in modalità *strada*. Inoltre, quando quest'ultima modalità è attiva la logica contenuta in questo blocco filtra i segnali provenienti dai pulsanti L, M ed N di Fig.4.11. Per questo motivo, oltre a ricevere il segnale dai pulsanti ed interruttori sopracitati, la pagina ha in ingresso il segnale *Motore\_Avviato* e quello proveniente dello switch I (con riferimento alla Fig.4.11) per riconoscere, rispettivamente, lo stato del motore e l'attivazione della modalità *strada*.

In *Funz\_Sensori* vengono ricevuti i segnali elettrici provenienti dai sensori. Per evitare rotture, la loro tensione viene limitata al massimo definito dalle specifiche (4500 mV) e viene generato un segnale d'errore se i valori in ingresso sono fuori dal range stabilito (500 - 4500 mV). Il bus d'uscita contiene le informazioni sulla tensione in ingresso dai sensori entra nel blocco *Valore\_Sensori*. In questa pagina, utilizzando anche le informazioni ottenute attraverso la procedura di calibrazione, il valore in *millivolt* viene tradotto in *centimetri* oppure in *bar* consentendo di elaborare il segnale più facilmente e favorendo il processo di visualizzazione sul terminale video.

Il bus d'uscita, oltre a contenere i dati generati dalle pagine, provvede al trasporto di segnali (la modalità *calibrazione*, l'inserimento della retromarcia, la modalità *strada* e *flottazione laterale*) che altrimenti avrebbero necessitato di un bus apposito.



### Valore dei Sensori

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Segnali → Puls\_Sensori → Valore\_Sensori → Slitta\_Dx

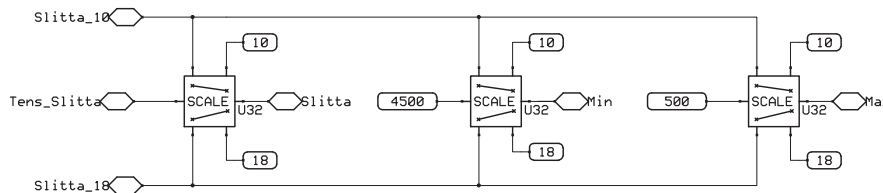


Figura 5.15: In questa pagina il valore in tensione del segnale proveniente dal sensore angolare posto sulla slitta destra viene convertito in centimetri.

All'interno della pagina *Valore\_Sensori* sono contenuti quattro blocchi, uno per ogni sensore presente nel sistema, che convertono la tensione proveniente dai sensori in una forma più intuitiva come i *centimetri* (per la posizione) o i *bar* (per il sensore di pressione).

La Fig.5.15 riporta il blocchetto che riceve il segnale dal sensore posto sulla slitta destra e converte l'informazione in centimetri. Per far questo, oltre che al segnale proveniente in tempo reale dal sensore, è necessario che in ingresso vi siano i valori registrati durante la calibrazione. In questa fase, le specifiche di progetto richiedono che vengano memorizzati i valori di tensione registrati dal sensore angolare della slitta destra quando questo si trova a 10 e a 18 cm da terra. Utilizzando il componente software definito con *SCALE* e definendo che la tensione del sensore registrata a 10 cm dal suolo (*Slitta\_10*) equivale a 10 mentre quella registrata a 18 cm (*Slitta\_18*) equivale a 18 è possibile creare un rapporto lineare tra la tensione in ingresso e il dato in uscita il quale avrà la caratteristica di essere già scalato in *centimetri*. In questo modo, l'informazione trasportata dal segnale *Slitta* non riguarderà più la tensione in ingresso dal sensore ma la distanza da terra alla quale si trova la slitta.

Allo stesso modo, conoscendo i valori limite della tensione in ingresso e le caratteristiche operative del sensore, è possibile definire due segnali che riportano, in *centimetri*, l'altezza massima e minima che è possibile registrare attraverso le slitte: alla tensione più alta corrisponderà il punto più vicino al terreno (*Min*) e, viceversa, la tensione minima sarà tradotta con l'altezza maggiore (*Max*).

Per gli altri sensori il principio di funzionamento è pressoché identico. Utilizzando i valori memorizzati durante la calibrazione e conoscendo le specifiche funzionali è possibile convertire la tensione in informazioni sulle unità di misura delle grandezze (altezza e pressione) in esame. Per un'analisi dettagliata di questi blocchi si rimanda all'appendice A.

### Selezione delle Modalità di Lavoro

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Segnali → Selez\_Modalita → Mod\_Auto\_Man

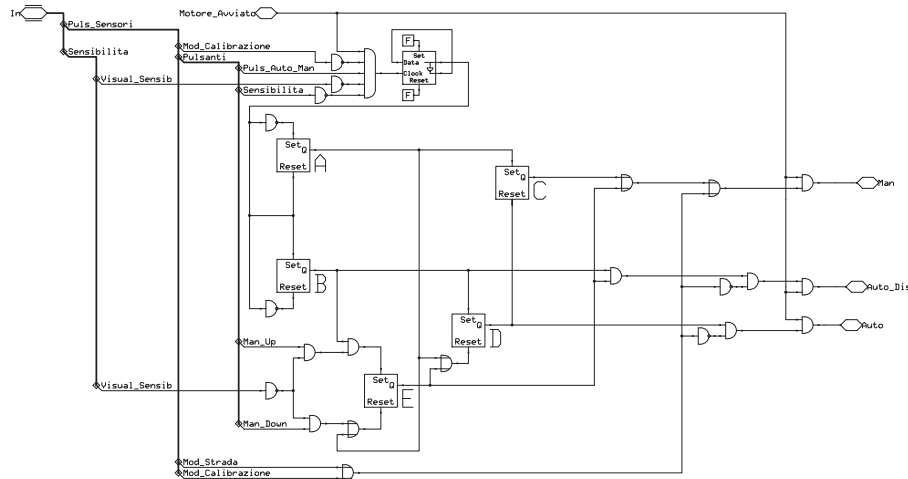


Figura 5.16: Questa pagina contiene la logica che consente di far commutare le modalità di lavoro manuale e automatiche secondo le regole descritte nelle specifiche progettuali.

La Fig.5.16 presenta i simboli grafici che creano la funzione logica necessaria ad eseguire la commutazione tra le modalità di lavoro automatica e manuale generando i segnali *Man*, che identifica la modalità *manuale*, *Auto\_Dis*, alla cui attivazione il sistema entra in modalità *automatico disinserito*.

Il processo di commutazione alternata tra la modalità di lavoro manuale e quella automatica è governato dal flip-flop posto nella parte alta della pagina: ad ogni fronte di salita del segnale *Puls\_Auto\_Man*, generato dal pulsante L in Fig.4.11, il flip-flop inverte il valore logico della sua uscita. La porta AND in ingresso al flip-flop è necessaria per far variare le modalità solamente se il motore è avviato e per inibire questa funzione quando il pulsante L non è usato per far commutare le modalità di lavoro, cioè in fase di modifica della sensibilità e in calibrazione.

Il segnale in uscita dal flip-flop serve a settare i due latch posti nella parte centrale della pagina, contrassegnati dalle lettere *A* e *B*, in modo che abbiano segnali di uscita complementari. All'accensione del sistema, e quindi della macchina, l'uscita del flip-flop sarà 0 portando a 1 l'uscita del latch *A* e resettando l'altro. Seguendo il segnale d'uscita di *A* si può vedere come esso porti a 1 l'uscita del latch *C* che attiva la modalità di lavoro *manuale* attraverso il segnale *Man*. Come richiedono le specifiche, i segnali d'uscita che riguardano le modalità automatiche e quella *automatico disinserito* non sono attivi.

Attraverso l'azionamento del pulsante L in Fig.4.11, l'uscita del flip-flop si porta a 1, invertendo le uscite dei due latch centrali. A questo punto,

grazie all'attivazione del latch  $D$  il segnale  $Man$  viene spento dato che  $C$  viene resettato. L'uscita del latch  $D$  porta ad  $1$  il segnale  $Auto$  permettendo al sistema di entrare in una delle modalità automatiche. Anche in questo caso, solo un segnale d'uscita è attivo mentre gli altri due sono posti al livello logico basso. Se l'utente vuole riportare il sistema in modalità *manuale* è sufficiente che prema nuovamente il pulsante  $L$  facendo commutare l'uscita del flip-flop.

Secondo le specifiche di progetto, il sistema deve entrare in modalità *automatico disinserito* se è impostata una modalità di lavoro automatica (latch  $B$  attivo) e viene premuto il pulsante di sollevamento della testata ((segnale  $Man\_Up$ )). In questo caso, all'interno del blocco  $Mod\_Auto\_Man$ , si attiva il latch  $E$  la cui uscita attiva il segnale  $Man$  e resetta  $D$ , spegnendo il segnale  $Auto$ . Inoltre, dato che  $B$  è ancora settato, il segnale  $Auto\_Dis$  si porta al livello logico alto. Il fatto che siano attivi due segnali d'uscita, che rappresentano due modalità di lavoro mutuamente esclusive, non deve essere considerato un problema perché si tratta di segnali interni funzionali ad una scelta progettuale derivata dallo studio delle specifiche di funzionamento che ha portato ad una riduzione della complessità realizzativa. Infatti, attraverso il segnale  $Auto\_Dis$  verranno attivate delle funzioni altrimenti non presenti in modalità *manuale* (attivata dal segnale  $Man$ ) e che consentono alla macchina di lavorare come richiesto dalle specifiche di progetto per la modalità *automatico disinserito*.

In questa situazione, se viene premuto il pulsante  $L$  in Fig.4.11 il sistema ritorna in modalità *manuale* attraverso l'attivazione del latch  $A$  ed il conseguente spegnimento di  $B$  ed  $E$ . Se invece l'utente preme il pulsante di abbassamento della testata (segnale  $Man\_Down$ ) la modalità automatica precedentemente sospesa viene reinserita. In questo caso, il latch  $E$  viene resettato portando allo spegnimento del segnale  $Auto\_Dis$  (e quindi all'uscita dalla modalità *automatico disinserito*). Ora che l'uscita di  $E$  è a  $0$  l'uscita di  $D$  può ritornare a  $1$  (dato che il latch  $B$  ha ancora l'uscita al livello logico alto non essendo mai stato resettato). Questo porta allo spegnimento del segnale  $Man$  (attraverso il latch  $C$ ) e all'attivazione di  $Auto$  e quindi al successivo ripristino della modalità automatica.

La presenza di diverse porte AND consente di azzerare tutte le uscite, ed interrompere il funzionamento del sistema, nel caso in cui il motore non sia avviato e di attivare le funzionalità tipiche della modalità manuale (attivando il segnale  $Man$ ) e disattivando gli altri due, quando è attiva la modalità *strada* oppure il sistema è in fase di calibrazione.

## Elettrovalvole

◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole

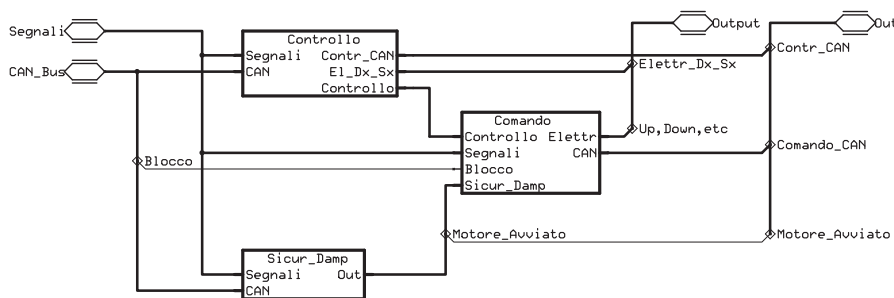


Figura 5.17: Il blocco Elettrovalvole non presenta alcuna logica di controllo ma contiene le pagine che consentono di generare i segnali in grado di pilotare le elettrovalvole della macchina.

Il blocco *Elettrovalvole* si trova sullo stesso livello logico della pagina *Segnali* e si trova a svolgere la medesima funzione di contenitore. Come mostrato in Fig.5.17, non è presente alcuna funzione operativa ma solamente altre pagine necessarie a generare i segnali per il comando delle elettrovalvole.

Le pagine contenute sono

- *Controllo*, la quale racchiude la logica che elabora i segnali provenienti dai sensori o dai pulsanti in base ai quali pilotare le elettrovalvole;
- *Comando*, che genera il segnale che andrà a pilotare le elettrovalvole;
- *Sicur\_Damp*, che contiene gli elementi che sovrintendono al *Dumping Control* e alle funzioni di sicurezza del sistema.

La pagina riceve in ingresso i dati dal blocco *Segnali*, come ad esempio il valore dei sensori, e dal blocco *CAN\_Bus*, per i giri del motore.

L'uscita principale è il bus *Output* che contiene i segnali che governano le elettrovalvole e sono connessi direttamente ai pin d'uscita. È inoltre creato il bus *Out* che contiene i dati necessari alle funzioni interne del software presenti negli altri blocchi (come il segnale *Motore\_Avviato* che indica se il motore della mietitrebbiatrice è acceso).

## Controllo

◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Controllo

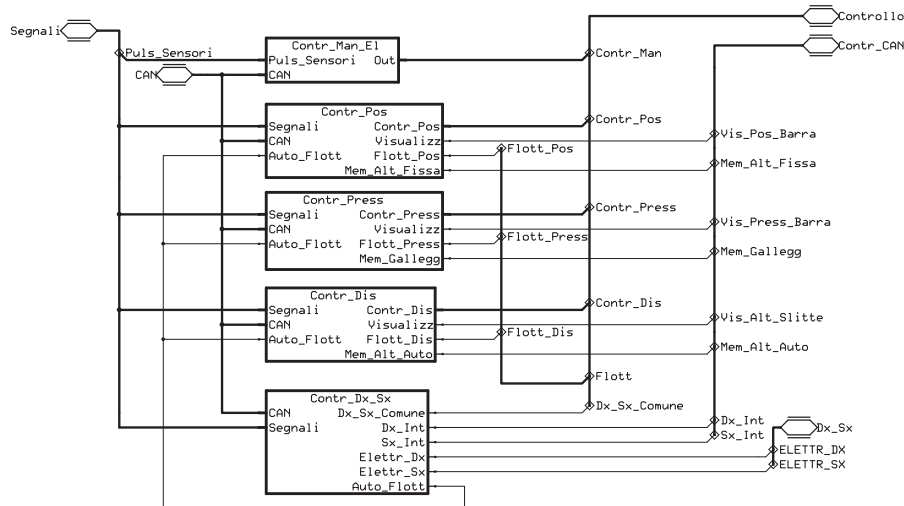


Figura 5.18: La figura rappresenta il blocco che contiene le funzioni necessarie ad elaborare i segnali dei sensori e dei pulsanti in modo da poter generare i comandi delle elettrovalvole.

La pagina riportata in Fig.5.18 contiene la logica per il controllo a retroazione che sta alla base dell'intero progetto. Qui vengono elaborati i dati provenienti dai sensori e confrontati con i valori memorizzati per consentire di pilotare congruentemente le elettrovalvole anche sfruttando i comandi dell'operatore che sono ricevuti attraverso i segnali della leva di comando. Le funzioni sono divise in base alla provenienza dei dati rispecchiando le diverse modalità di lavoro presenti nel sistema e riassunte nella Tab.5.2.

Le funzioni sono divise in base alla provenienza dei dati e racchiuse in pagine specifiche:

- *Contr\_Man\_El:* riceve in ingresso i segnali provenienti dalla leva di comando ed è utilizzata durante la modalità *manuale* e *automatico disinserito*;
- *Contr\_Pos:* elabora il segnale dal sensore angolare posto sull'elevatore quando il sistema è in modalità *altezza fissa*;
- *Contr\_Press:* elabora il segnale del sensore di pressione in modalità *galleggiamento*;
- *Contr\_Dis:* elabora i segnali provenienti dai sensori angolari posti sulle slitte da sfruttare per la modalità *altezza fissa*;

Queste pagine sovrintendono solamente il controllo del movimento verticale della barra. La gestione dello spostamento laterale è affidata al blocco

- *Contr\_Dx\_Sx* che elabora i dati dei sensori angolari delle slitte tastatrici per creare il controllo a retroazione sulla posizione trasversale utilizzato durante la modalità *flottazione laterale*. Questo blocco, a differenza degli altri presenti in questa pagina, genera i segnali (*ELETTTR\_DX* e *ELETTTR\_SX*) che andranno a pilotare direttamente le elettrovalvole necessarie al movimento laterale della testata.

I segnali d'uscita della pagina, oltre a quelli connessi direttamente ai piedini del microcontrollore, sono inseriti all'interno dei bus *Controllo* e *Contr\_CAN*.

Il primo di questi è diretto verso il blocco che pilota le elettrovalvole e contiene le informazioni necessarie per comandare il movimento della testata seguendo l'elaborazione dei segnali esterni.

Il bus *Contr\_CAN*, invece, contiene i valori di altezza e pressione che, su richiesta dell'utente, il sistema ha memorizzato e quelli che devono essere visualizzati. Grazie a questo bus, i dati vengono inviati al blocco che sovrintende la rete CAN attraverso il quale è possibile inviarli allo schermo della cabina.

### Controllo dell'Altezza dell'Elevatore

◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Controllo → Contr\_Pos

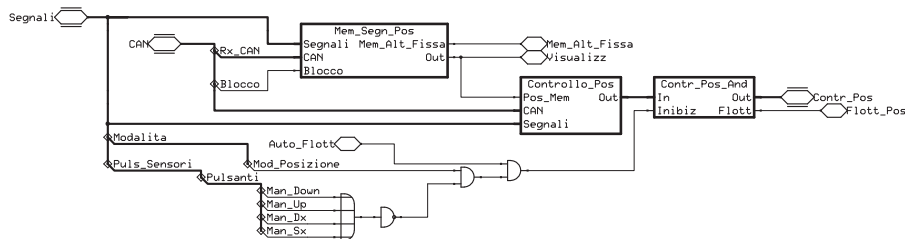


Figura 5.19: In questa pagina è contenuta la logica che consente alla macchina di eseguire le funzioni richieste dalla modalità altezza fissa.

La Fig.5.19 riporta gli elementi presenti una delle cinque pagine che compongono il blocco *Controllo*. All'interno di *Contr\_Pos* è presente la logica in grado di elaborare il segnale proveniente dal sensore angolare posto sull'elevatore che consente di gestire il sistema quando questo si trova in modalità *altezza fissa*.

I tre blocchi che compongono questa pagina consentono di gestire tre operazioni specifiche del controllo dell'altezza di taglio:

- *Mem\_Segn\_Pos*: al suo interno sono presenti le funzioni e i componenti che permettono di memorizzare il valore dell'altezza di taglio impostato dall'utente per il controllo automatico e che sono in grado di controllare che questo valore rispetti le specifiche di progetto (ad esempio, non esca dal range di lavoro stabilito);
- *Controllo\_Pos*: contiene la logica del controllo a retroazione il quale genera il segnale per un eventuale sollevamento o abbassamento in base ai dati provenienti dal sensore angolare;
- *Contr\_Pos\_And*: inibisce il controllo quando è attivo il comando automatico di flottazione laterale e limita la sua attivazione solamente ai momenti in cui il sistema si trova in modalità *altezza fissa*.

### La Retroazione nel Controllo dell'Altezza dell'Elevatore

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Controllo → Contr\_Pos → Controllo\_Pos

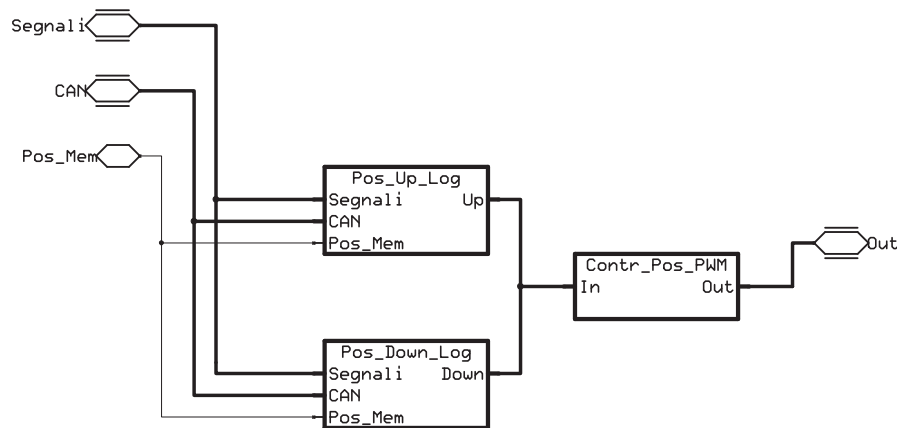


Figura 5.20: All'interno delle pagine contenute nel blocco Controllo\_Pos è presente la logica che sviluppa la retroazione necessaria a mantenere costante l'altezza della barra di taglio in base al segnale inviato dal sensore angolare posto sull'elevatore.

La logica che permette la realizzazione di un controllo retroattivo dell'altezza di taglio è contenuta all'interno delle pagine presenti nel blocco *Controllo\_Pos*, raffigurato in Fig.5.20.

Seguendo la logica organizzativa comune a tutto il software, ogni pagina presente è realizzata raggruppando funzioni simili:

- *Pos\_Up\_Log* gestisce la parte del controllo a reatroazione che comanda l'elettrovalvola di sollevamento della testata;
- *Pos\_Down\_Log* gestisce la parte del controllo a reatroazione che comanda l'elettrovalvola di abbassamento della testata;
- *Contr\_Pos\_PWM* sfruttando il lavoro degli altri due blocchi, genera i segnali necessari per il comando delle elettrovalvole.



### Sollevamento della Testata dovuto alla Retroazione del Controllo dell'Altezza dell'Elevatore

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Controllo → Contr\_Pos → Controllo\_Pos → Pos\_Up\_Log

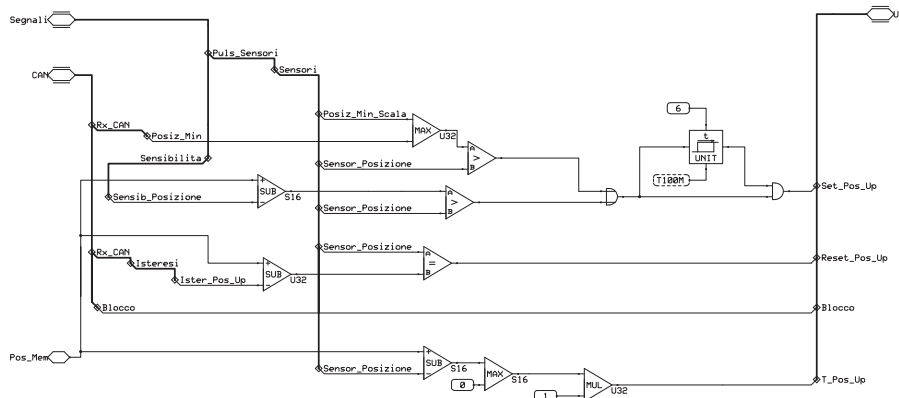


Figura 5.21: La figura riporta la logica necessaria ad implementare un controllo a retroazione per valori inferiori a quello di riferimento e che conduca, quindi, ad un sollevamento della testata.

Nella pagina *Pos\_Up\_Log*, rappresentata nella Fig.5.21, i vari elementi logici forniti dal software di sviluppo sono collegati in modo da riconoscere, attraverso i dati forniti dal sensore angolare, se l'altezza della barra di taglio si trova al di sotto di quella di riferimento impostata dall'utente.

Per prima cosa, al dato di tipo intero contenuto nel segnale *Pos\_Mem*, che rappresenta l'altezza in centimetri rilevata dal sensore, viene sottratto il valore della sensibilità (contenuto in *Sensib\_Posizione*) deciso dall'operatore. Se per un periodo di tempo superiore ai 600 ms (come richiesto dalle specifiche) questo dato risulta maggiore del valore di altezza in centimetri fornito dal sensore angolare in tempo reale (*Sensor\_Posizione*), il segnale *Set\_Pos\_Up* viene attivato e rimarrà tale finché nel confronto fra i due valori quello dell'altezza registrata dal sensore continuerà ad essere il minore. In questo modo risulta chiaro come per diminuire la sensibilità del sistema di controllo sia necessario aumentare il valore sottratto all'altezza di riferimento impostata in quanto, nel confronto, il valore registrato in tempo reale dai sensori avrà sicuramente meno probabilità di risultare il minore.

L'attivazione del segnale *Set\_Pos\_Up*, che verrà utilizzato per generare il comando di sollevamento della testata, viene causata anche quando la barra di taglio scende al di sotto dell'altezza minima consentita. Per riconoscere questa situazione si determina la minima altezza che è rappresentata dal segnale che presenta il valore maggiore tra la minima altezza di lavoro impostata dall'utente ed il minimo valore che il sensore è in grado di rilevare: così facendo si

è sicuri di utilizzare la condizione più restrittiva. L'altezza minima consentita viene confrontata con quella fornita dal sensore angolare in tempo reale e nel caso in cui fosse minore si ha l'attivazione di *Set\_Pos\_Up*.

La chiusura dell'elettrovalvola che sovrintende al sollevamento della barra è condizionata all'attivazione del segnale *Reset\_Pos\_Up* che avviene quando l'altezza rilevata in tempo reale risulta uguale a quella impostata dall'utente a cui è stato aggiunto il valore di isteresi. Infatti, in fase di sollevamento automatico l'altezza reale è sicuramente più bassa rispetto a quella di riferimento per cui, aumentando l'isteresi impostata (in centimetri), i due valori si eguagliano rispetto all'altezza di riferimento, lasciando alla testata più spazio per dissipare la propria inerzia.

Il segnale d'uscita *T\_Pos\_Up* è utilizzato per definire la larghezza dell'impulso PWM con cui deve essere pilotata l'elettrovalvola proporzionale. Il sottrattore consente di creare un dato che rappresenta la distanza tra la posizione della barra ed il punto di arrivo impostato dall'utente che crea un segnale in grado di ottenere una maggiore apertura della valvola. Per evitare valori negativi (quando l'altezza reale è maggiore di quella impostata) il dato viene limitato a 0 inferiormente. Inoltre, è stato inserito un moltiplicatore nel caso in cui sia necessario inserire un coefficiente di proporzionalità.

Il segnale *Blocco*, generato quando il sistema riscontra un errore grave nel suo funzionamento, è trasferito dal bus d'ingresso a quello d'uscita in modo che, attraverso quest'ultimo, sia disponibile nei blocchi successivi.



## Comando delle Elettrovalvole

◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Comando

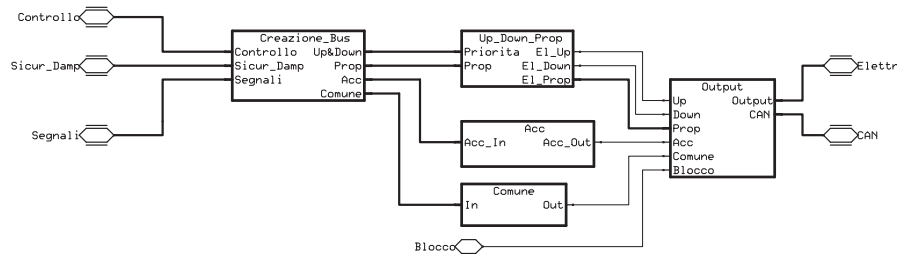


Figura 5.23: La logica contenuta all'interno delle pagine del blocco Comando è in grado di creare i segnali necessari a pilotare correttamente le elettrovalvole della mietitrebbiatrice.

All'interno della pagina *Comando*, raffigurata in Fig.5.23, sono contenute le funzioni che, seguendo le informazioni provenienti dai blocchi di controllo, permettono di creare i segnali che comandano il lavoro delle elettrovalvole. Queste funzioni sono contenute all'interno di cinque pagine distinte:

- *Up\_Down\_Prop*: genera i segnali che pilotano l'elettrovalvola proporzionale, di sollevamento e di abbassamento, seguendo i segnali di controllo e gestendo le priorità secondo le specifiche progettuali;
- *Acc*: attiva gli accumulatori nei casi descritti dalle specifiche e quando viene richiesto dagli appositi segnali di controllo;
- *Comune*: comanda l'apertura dell'elettrovalvola comune in relazione ai segnali di controllo;
- *Creazione\_Bus*: preleva i segnali dai diversi bus d'ingresso per generare un bus per ognuna delle pagine in cui sono presenti solo i segnali necessari al funzionamento del blocco a cui è indirizzato;
- *Output*: genera i bus d'uscita: *CAN* il quale è diretto al blocco *CAN\_Bus* e *Elettro* contenente i segnali che andranno direttamente ai pin d'uscita per pilotare le elettrovalvole.

### Comando dell'Elettrovalvola Proporzionale, di Sollevamento e di Abbassamento

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Comando → Up\_Down\_Prop

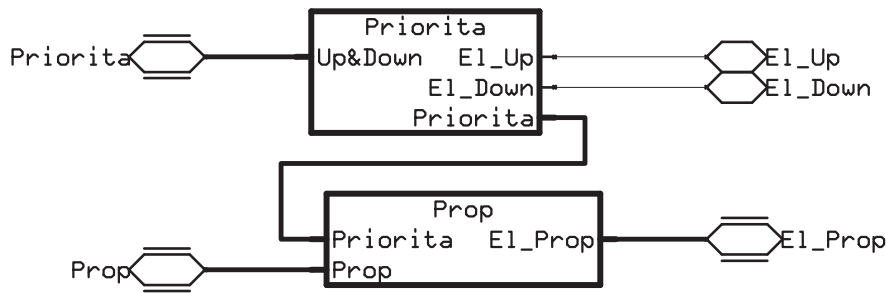


Figura 5.24: La pagina raffigurata permette, attraverso la logica contenuta nei due blocchi, di generare i segnali per comandare l'elettrovalvola proporzionale, quella di sollevamento e quella di abbassamento rispettando i segnali di controllo e gestendo le priorità secondo le specifiche.

La logica contenuta all'interno del blocco *Up\_Down\_Prop*, rappresentato in Fig.5.24, consente di pilotare direttamente l'elettrovalvola proporzionale, l'elettrovalvola di sollevamento e quella di abbassamento della testata in base alle informazioni contenute nei segnali provenienti dai blocchi dedicati al controllo e gestendo i casi di concomitanza in base alle specifiche progettuali.

Le funzioni che permettono di svolgere questo lavoro sono contenute in due pagine distinte:

- *Priorita*: gestendo le informazioni provenienti dai blocchi di controllo secondo una scala di priorità definita dalle specifiche di progetto, questa pagina genera i segnali che entreranno direttamente nei pin d'uscita per pilotare le elettrovalvole di sollevamento e abbassamento (*El\_Up* e *El\_Down*);
- *Prop*: sfrutta la logica del blocco *Priorita*, che fa rispettare la sequenza gerarchica dei segnali, per generare il segnale PWM che serve a pilotare l'elettrovalvola proporzionale.

### Rispetto della Scala di Priorità dei Segnali di Controllo

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Comando → Up\_Down\_Prop → Priorita

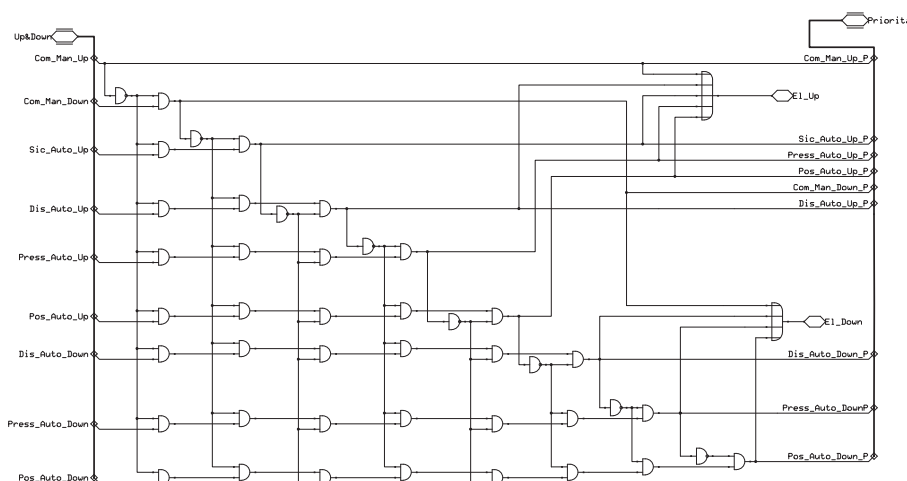


Figura 5.25: Il rispetto della scala di proprietà definita dalle specifiche di progetto è affidata alla logica rappresentata nella figura.

Durante tutto il processo di elaborazione dei segnali provenienti dall'esterno, ogni blocco ha lavorato in maniera autonoma generando di conseguenza i suoi segnali d'uscita. La maggior parte delle volte solo una determinata parte del programma elabora i segnali esterni: ad esempio se il sistema è in modalità *manuale* il compito di controllo spetta al blocco *Contr\_Man\_El* oppure se è in modalità *altezza variabile* al blocco *Contr\_Dis* come descritto nella pagina *Controllo*.

In alcuni casi può succedere che la contemporanea attività di due controlli automatici o l'attivazione automatica dei comandi di sicurezza porti ad avere più di un segnale di comando che va ad agire sulla medesima elettrovalvola, magari con informazioni diverse. Per questo e per garantire la precedenza dei comandi manuali, tutti i segnali provenienti dai blocchi di controllo e necessari all'attivazione delle elettrovalvole di movimento verticale della testata entrano nel blocco *Priorita*.

Ponendo in AND logica i segnali secondari con la negazione di quello prioritario si garantisce che quando quest'ultimo sarà attivo gli altri saranno inibiti. Mettendo insieme questo concetto con la scala di priorità dei segnali, ricavabile dalle specifiche progettuali, si ricava la struttura visibile nella Fig.5.25.

Dopo essere stati filtrati in base alle priorità delle specifiche, inoltre, i segnali vengono unificati attraverso la porta logica OR per formare un unico filo che servirà a pilotare l'elettrovalvole di sollevamento (creato dai segnali

*Up*) e quello di abbassamento (che segue i segnali *Down*). I segnali filtrati sono comunque raccolti all'interno di un bus che verrà usato dal blocco *Prop* per generare il segnale PWM seguendo le informazioni che arrivano dal controllo che ha la precedenza.

## 5.5 Prove sul Campo

Lo scopo dei test pratici svolti sulla macchina è quello di verificare il corretto funzionamento del sistema di controllo dell'altezza di taglio in condizioni operative. I test si sono svolti nel parco interno della Laverda s.p.a. nel mese di Febbraio 2010 e, a causa della stagione, non è stato possibile eseguire prove di mietitura.

La mancanza di accorgimenti realmente efficaci per ricreare a livello virtuale la presenza della barra di taglio ha reso necessario installare il sistema sulla mietitrebbiatrice per poterlo testare in presenza di tutti gli elementi non ricreabili al computer. La testata, il cui peso supera la tonnellata, introduce delle componenti di inerzia difficilmente riproducibili al computer in quanto variano a seconda del tipo di barra e della pressione dell'olio all'interno del circuito idraulico.

I test sono stati eseguiti installando il nuovo cablaggio in una mietitrebbiatrice Laverda dotata di una barra a grano, sulla quale sono stati montati il sensore di pressione, l'elettrovalvola proporzionale e la centralina di controllo MC 50-10. Dato che la macchina per i test era solamente un prototipo, non era presente il monitor touch screen per l'interfaccia con l'utente. Questo non ha inficiato i risultati ottenuti in quanto si è provveduto a sostituire le sue funzioni con un apposito tool della *Sauer Danfoss* installato su un pc collegato alla rete CAN-Bus della macchina. Attraverso il pc, inoltre, è stato possibile monitorare i diversi parametri del sistema di controllo dell'altezza di taglio, normalmente non visibili dall'utente ma fondamentali per uno studio esaustivo del comportamento della macchina.

Le prime prove sono state eseguite sulla risposta ai segnali provenienti dalla leva di comando per verificare il funzionamento del controllo manuale. Successivamente si sono inseriti i diversi tipi di controllo automatico mantenendo ferma la macchina al fine di testare le funzionalità di base della retroazione del sistema. Infine, l'ultima fase di test è stata eseguita attivando tutte le funzionalità del controllo automatico dell'altezza di taglio mentre la mietitrebbiatrice era in movimento.

Questa fase si è rivelata fondamentale per la realizzazione completa del progetto in quanto ha permesso di correggere diversi errori compiuti durante la realizzazione del software e del cablaggio.

La mancanza del display all'interno della cabina di guida non ha permesso di valutare il corretto funzionamento della comunicazione CAN-Bus con il microcontrollore ma i risultati finali che escono dalla serie di prove effettuate sul campo dimostrano come il sistema di controllo dell'altezza di taglio realizzato durante il periodo di tirocinio presso la *Laverda s.p.a.* rispetti le specifiche funzionali dettate dall'azienda.



## Capitolo 6

---

# Conclusioni

---

La capacità di realizzare un efficiente controllo automatico dell'altezza di taglio rappresenta un notevole campo di sfida tra i diversi produttori di mietitrebbiatrici. Il mercato, infatti, invita a ridurre il carico di lavoro richiesto all'operatore delegando al sistema automatico la ricerca della massima produttività.

Questo progetto ha sviluppato un controllo capace, sotto l'impulso dell'operatore, di garantire una produzione elevata e un'altezza di taglio uniforme in grado di adattarsi alle diverse conformazioni del terreno e alle differenti tipologie di colture. La comprensione del funzionamento della mietitrebbiatrice e degli accorgimenti tecnici e tecnologici che consentono il movimento della piattaforma di taglio ha rappresentato la base di partenza necessaria per mettere a fuoco l'obiettivo finale richiesto dalle specifiche funzionali che la *Laverda s.p.a.* ha fornito.

Il controllo dell'altezza di taglio è eseguito coordinando i diversi tipi di lavori svolti dai componenti del sistema. I sensori, ad esempio, pur rilevando quantità diverse (spostamento angolare e pressione) vengono utilizzati per garantire un controllo corretto anche a distanze molto vicine al suolo.

La capacità del sistema di creare una rete efficiente tra tutti i componenti è data dalla presenza del microcontrollore MC 50-10 e dal software che vi è stato implementato. Lo sviluppo del programma ha rappresentato la parte più importante del processo di realizzazione in quanto, attraverso di esso, è stato possibile modellare le funzioni del sistema secondo le richieste aziendali. Lo studio delle specifiche dei diversi componenti ha permesso di comandarli correttamente e di elaborarne il segnale in maniera appropriata.

Concretamente, la rete è stata formata attraverso la realizzazione delle interconnessioni fisiche fra i componenti. La progettazione del cablaggio però, pur nella semplicità costruttiva, ha comportato un attento studio della potenza richiesta dai diversi elementi, del loro posizionamento all'interno della

macchina e dei disturbi provocati dall'ambiente per non compromettere le funzionalità del controllo automatico.

Le prove pratiche eseguite alla fine hanno permesso di valutare il funzionamento del sistema in condizioni operative. Questa è stata una fase fondamentale in quanto ha consentito di correggere diversi malfunzionamenti altrimenti non rilevabili al computer.

L'attività di tirocinio svolta si è conclusa con la realizzazione del sistema di controllo dell'altezza di taglio della mietitrebbiatrice funzionante a livello di prototipo permettendo di raggiungere l'obiettivo che mi ero posto all'inizio dell'esperienza. I sei mesi svolti all'interno dell'azienda mi hanno permesso di toccare con mano le esigenze e le problematiche connesse all'attività di progettazione e produzione a livello industriale che devono relazionarsi non solo con le difficoltà di sviluppo ma anche con le richieste del mercato e con la redditività economica.

Gli sviluppi futuri del progetto prevedono il suo test durante la fase di trebbiatura per verificarne il funzionamento in condizioni di stress di durata e temperatura con l'obiettivo finale di avviarne la produzione in serie.

---

# Bibliografia e Sitografia

---

- [1] *Mietitrebbiatrice* - *wikipedia*.  
<http://it.wikipedia.org/wiki/Mietitrebbiatrice>.
- [2] Ricketts et al.  
*Stepped grate for an agricultural combine*.  
2006.
- [3] Laverda s.p.a.  
*Manuale di uso e manutenzione - piattaforma di taglio*.  
2006.
- [4] Piergiorgio Laverda.  
*Le macchine agricole Laverda*.  
Studio Laverda - Agorà Factory.  
2010.
- [5] Bosch Rexroth AG.  
*Pressure sensor pr2 - technical data sheet*.  
2007.
- [6] Bosch Rexroth AG.  
*Hall-effect angle sensor an2 - data sheet*.  
2008.
- [7] *Hall effect sensor* - *wikipedia*.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Hall\\_effect\\_sensor](http://en.wikipedia.org/wiki/Hall_effect_sensor).
- [8] Sauer-Danfoss (US) Company.  
*Solenoid valves - tech note*.  
2007.
- [9] *Elettrovalvola* - *wikipedia*.  
<http://it.wikipedia.org/wiki/Elettrovalvola>.
- [10] Sauer-Danfoss (US) Company.  
*Proportional flow control valves, 10, 12, 16 series*.  
2009.

- [11] Danfoss.  
*Scheda tecnica - elettrovalvole proporzionali a 2 vie servocomandate tipo EV260B.*  
2006.
- [12] Sauer-Danfoss (US) Company.  
*MC 50-10 and MC 50-12 controllers.*  
2008.
- [13] Sauer-Danfoss (US) Company.  
*Plus+1 guide user manual.*  
2008.
- [14] *Controller area network - wikipedia.*  
[http://it.wikipedia.org/wiki/CAN\\_bus](http://it.wikipedia.org/wiki/CAN_bus).
- [15] Robert Bosch GmbH.  
*Can specification - version 2.0.*  
1991.

# Appendice



## Appendice A

---

# Il Codice del Software di Controllo

---

In questa appendice al lavoro di tesi è raccolta quella parte del software di controllo realizzato durante il tirocinio presso la *Laverda s.p.a.* che non è stato possibile inserire nel corpo principale. Si è deciso di non appesantire la consultazione inserendo immagini e descrizioni non essenziali ad illustrare le funzionalità del sistema realizzato e a comprendere il lavoro svolto.

Il software implementato all'interno del microcontrollore MC 50-10 rappresenta l'elemento fondamentale del controllo automatico oltre che essere la componente su cui si è concentrato il maggior carico di lavoro durante l'esperienza di tirocinio. Per garantire in ogni caso una descrizione completa di un elemento importante all'interno del sistema di controllo sviluppato, si è deciso di inserire in questa appendice il codice non riportato nella sezione 5.4.

La prima parte dell'appendice è dedicata a quelle pagine che riportano strutture complesse che necessitano di una adeguata spiegazione per poter analizzare e comprendere la funzione logica prodotta.

Le pagine poco complesse o le cui strutture siano già state precedentemente descritte vengono riportate nella seconda parte dell'appendice in cui la descrizione è lasciata alle didascalie di accompagnamento.

## A.1 Strutture Complesse

### Calibrazione

◆ *Percorso:* Top → Application → Segnali → Calibrazione

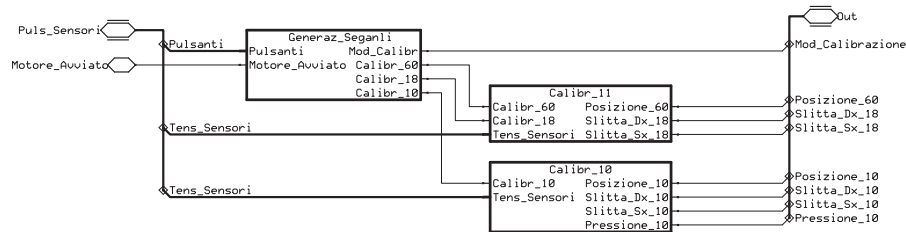


Figura A.1: La logica contenuta all'interno delle pagine presenti in questo blocco consente di eseguire la procedura di calibrazione definita dalle specifiche progettuali.

Tutta la logica attraverso cui è possibile effettuare il processo di calibrazione è contenuta all'interno del blocco *Calibrazione*, riportato in Fig.A.1. Le funzioni di cui si compone sono contenute all'interno di tre diverse pagine:

- *Generaz\_Segnali*: genera i segnali interni al processo di calibrazione oltre che al segnale *Mod\_Calibrazione* che, se attivo, indica che il sistema è in fase di calibrazione;
- *Calibr\_10*: memorizza il valore della tensione registrata dai sensori quando la barra si trova all'altezza di 10 cm;
- *Calibr\_11*: memorizza il valore della tensione registrata dai sensori sulle slitte a 18 cm da terra e dal sensore sull'elevatore a 60 cm da terra.

I segnali in ingresso al blocco portano la tensione in arrivo dal sensore e i segnali digitali provenienti dai pulsanti presenti nella cabina di guida e utilizzati nella fase di calibrazione. Inoltre è presente il segnale *Motore\_Avviato* in quanto, per rispettare le specifiche progettuali, il sistema deve essere in grado di riconoscere se il motore è acceso.

Oltre al segnale *Mod\_Calibrazione*, le uscite rappresentano il valore di tensione registrato dai sensori alle altezze indicate dalle specifiche:

- 10 cm per tutti i sensori;
- 18 cm per i sensori di posizione montati sulle slitte;
- 60 cm per il sensore angolare montato sull'elevatore.



### Generazione dei Segnali Interni al Processo di Calibrazione

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Segnali → Calibrazione → Generaz\_Segnali

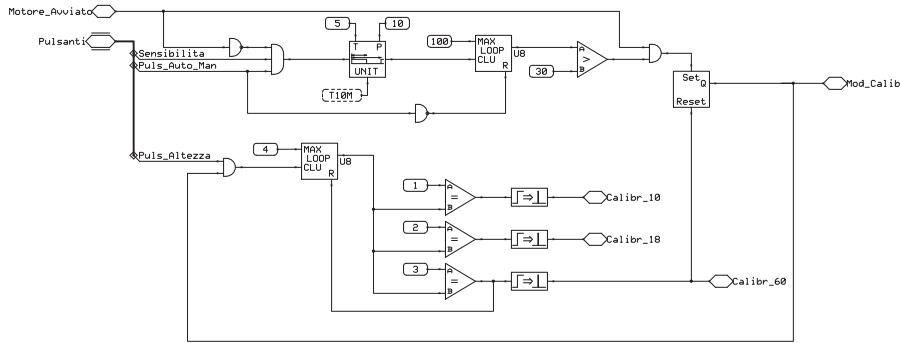


Figura A.2: La funzione sviluppata all'interno di questa pagina permette di generare i segnali necessari al corretto svolgimento della procedura di calibrazione.

L'organizzazione degli elementi logici realizzata all'interno della pagina *Generaz\_Segnali*, e riportata nella Fig.A.2, realizza una funzione che è in grado di generare i segnali interni al processo di calibrazione per rispettare le specifiche di progetto.

Come riportato nella sezione 5.2, l'operatore deve premere contemporaneamente i pulsanti L ed M di Fig.4.11 (che in questa pagina sono corrispondenti ai segnali *Puls\_Auto\_Man* e *Sensibilita* rispettivamente) per almeno 5 secondi e poi accendere il motore per consentire al sistema di entrare in fase di calibrazione.

La porta logica AND a tre ingressi, che in Fig.A.2 si trova in alto a sinistra, consente di rispettare questa richiesta. Infatti solo se il motore non è acceso (e quindi il segnale *Motore\_Avviato* non è attivo) l'uscita della porta logica potrà essere attiva quando i segnali digitali provenienti dai pulsanti sono contemporaneamente a 1 attivando un generatore di onde quadre che presentano un periodo di 100 ms. Il numero di fronti di salita presenti nell'onda quadra viene contato e dopo 3 secondi (che equivalgono a 30 fronti di salita) si attiva il segnale in uscita dal comparatore.

In queste condizioni, il motore può venire acceso consentendo di attivare il latch e portando a 1 il segnale *Mod\_Calibr* che consente al sistema di entrare in fase di calibrazione. Quando il segnale *Motore\_Avviato* assume il livello logico alto, il generatore di onde quadre smette di funzionare ma il dato in uscita dal comparatore rimane sempre a 1 perchè il contatore mantiene l'ultimo valore conteggiato. Per evitare funzionamenti non corretti la soglia di reset del contatore è stata impostata a 10 secondi (100 fronti di salita) in modo che, praticamente, non può mai essere raggiunta in condizioni operative. Viene

però fornito un segnale di reset che si attiva quando l'operatore rilascia il pulsante L in modo che la successiva procedura di calibrazione possa essere svolta in maniera corretta.

Viene richiesto di memorizzare i valori di tensione provenienti dai sensori quando la testata si trova a diverse altezze dal terreno attraverso l'azionamento del pulsante N in Fig.4.11, rappresentato dal segnale *Puls\_Altezza*. La porta logica AND posta sinistra della pagina consente di inibire la funzionalità svolte da N all'interno del processo di calibrazione se quest'ultimo non è in azione. Ad ogni attivazione del pulsante un contatore di fronti di salita incrementa il valore del suo segnale d'uscita che viene comparato per originare nuovi segnali digitali. La prima volta che viene premuto N il contatore indicherà il valore intero 1 attivando l'impulso sul segnale *Calibr\_10* che consentirà di memorizzare il valore di tensione dei sensori il cui dato, secondo le specifiche, deve essere registrato a 10 cm dal suolo. Analogamente alla seconda attivazione del pulsante si attiverà l'impulso su *Calibr\_18* per i sensori il cui valore deve essere memorizzato quando la barra si trova a 18 cm da terra mentre la terza attivazione del pulsante, oltre ad attivare l'impulso su *Calibr\_60* resetta il contatore in modo che all'avvio successivo il procedimento si possa svolgere correttamente.

Le specifiche richiedono che il sistema esca dalla fase di calibrazione dopo che è stato memorizzato il valore di tensione proveniente dal sensore angolare sull'elevatore. Per questo, la terza attivazione del pulsante N resetta il latch posto nella parte in alto a destra della Fig.A.2 per portare a 0 il segnale *Mod\_Calibr* e far uscire il sistema dalla fase di calibrazione.

## Generazione dei Segnali Interni al Procedimento di Impostazione della Sensibilità

◆ *Percorso:* Top → Application → Segnali → Sensibilita → Segnali\_Sensib

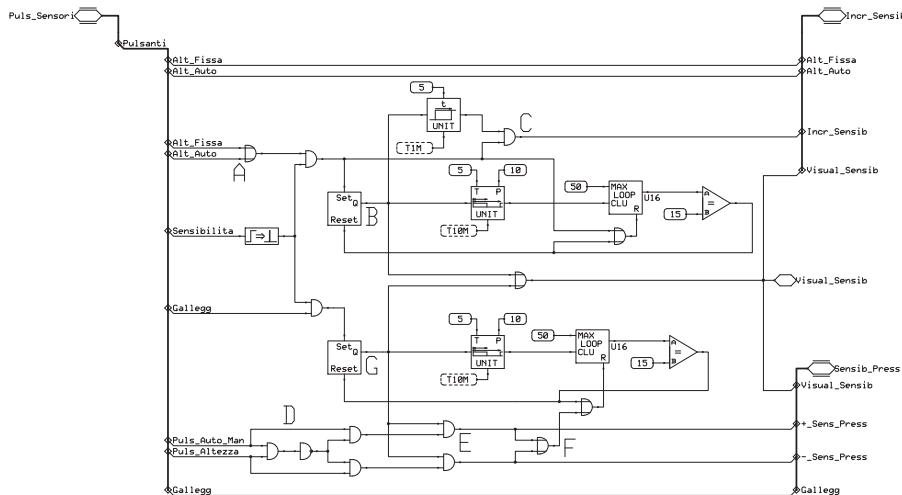


Figura A.3: La logica riportata nella figura consente di generare, in base agli impulsi provenienti dalla cabina di comando, i segnali necessari alla modifica del valore di sensibilità memorizzato.

La struttura interna del blocco *Sensibilita* prevede che vi siano degli appositi segnali che indichino quando far visualizzare il valore di sensibilità e quando incrementarlo. Questi segnali vengono generati all'interno della pagina *Segnali\_Sensib* riportata in Fig.A.3.

Il fatto che l'impostazione della sensibilità relativa alle modalità *altezza fissa* e *altezza variabile* sia diversa da quella inerente alla modalità *galleggiamento* ha condotto alla creazione di due percorsi distinti per generare i segnali necessari a questa procedura.

La funzione che genera il segnale *Incr\_Sensib*, utilizzato per modificare la sensibilità delle modalità ad altezza fissa e variabile, inizia dalla porta logica OR contrassegnata dalla lettera A. Quest'ultima, assieme alla porta AND adiacente, consente di attivare il latch B quando viene premuto il pulsante di modifica della sensibilità (indicato con M in Fig.4.11 e rappresentato dal segnale *Sensibilita*) mentre il commutatore delle modalità è posizionato su E o F (Fig.4.11) corrispondenti all'*altezza fissa* e all'*altezza variabile*. L'attivazione del latch B porta ad 1 il segnale *Visual\_Sensib*, che verrà utilizzato per far entrare il sistema nella fase di impostazione della sensibilità, e abilita la generazione di un'onda quadra con un periodo di 100 ms. In questo modo, attraverso un contatore ed un comparatore, è possibile resettare il latch B (ed il contatore) dopo 1,5 secondi dall'attivazione del pulsante M, cioè dopo

15 fronti di salita e far uscire il sistema dalla modalità di impostazione della sensibilità.

Inoltre, il segnale d'uscita del latch B viene ritardato di 5 ms prima di entrare nella porta logica C il cui secondo ingresso è pilotato dal pulsante M. In questo modo la prima attivazione del pulsante porta a 1 solamente il segnale *Visual\_Sensib* e non abilita *Incr\_Sensib* che è necessario per eseguire la modifica del valore memorizzato. Se il pulsante M viene premuto durante la fase di impostazione della sensibilità, il segnale *Incr\_Sensib* si attiva per la durata di un impulso mentre il contatore viene resettato in modo da prolungarne la durata della fase di modifica e mantenerne visualizzato il valore sullo schermo.

La parte bassa della pagina riporta il codice necessario alla variazione della sensibilità relativa alla modalità *galleggiamento*. L'attivazione della fase di impostazione avviene sempre attraverso il pulsante M mentre la modifica è causata dall'attivazione dei pulsanti L ed N (attraverso i segnali *Puls\_Auto\_Man* e *Puls\_Altezza* rispettivamente) che ne aumentano o diminuiscono il valore.

Il processo di attivazione del segnale *Visual\_Sensib* è analogo a quanto avviene per le modalità *altezza fissa* e *altezza automatica* portando all'attivazione di un latch attraverso il pulsante M solo se il commutatore si trova in posizione G che corrisponde al *galleggiamento*. Allo stesso modo se il pulsante M non è attivato per 1,5 secondi il sistema ritorna in modalità ordinaria. Grazie alla presenza delle porte logiche AND evidenziate dalla lettera E, la generazione dei segnali *+\_Sens\_Press* e *-\_Sens\_Press*, necessari all'incremento ed alla diminuzione del valore di sensibilità memorizzato, è vincolata all'attivazione del latch G (che indica che il sistema è in fase di modifica della sensibilità relativa alla modalità *galleggiamento*) e dei segnali *Puls\_Auto\_Man* e *Puls\_Altezza* (attraverso i pulsanti L ed N rispettivamente) la cui contemporanea attività è inibita dalla struttura di porte logiche indicata con D.

La porta logica OR corrispondente ad F consente di resettare il contatore ad ogni modifica del valore di sensibilità in modo da prolungarne la fase di modifica e mantenerne visualizzato il valore sullo schermo.

### Impostazione della Sensibilità per le Modalità ad Altezza Fissa e Variabile

◆ *Percorso:* Top → Application → Segnali → Sensibilita → Incr\_Sensib

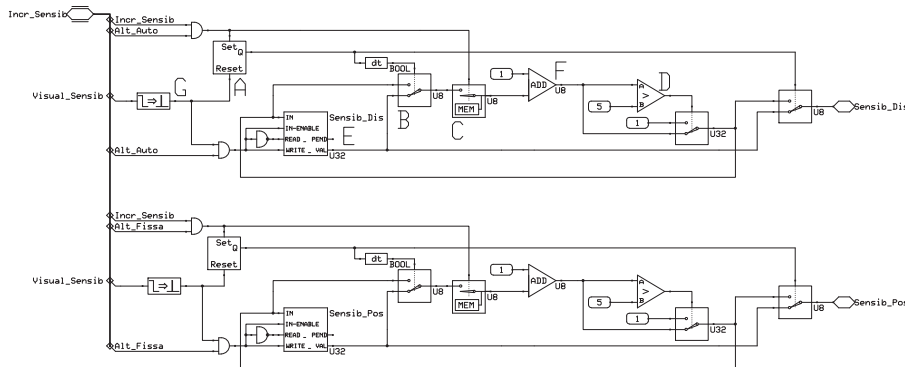


Figura A.4: In questa pagina è contenuta la funzione che consente di incrementare il valore di sensibilità, relativo alle modalità altezza fissa e altezza variabile, e di memorizzarlo solamente alla fine della fase di modifica.

Data l'uguaglianza dei procedimenti utilizzati per modificare il valore di sensibilità relativi alle modalità *altezza fissa* e *altezza automatica* si è deciso di riunire la logica necessaria all'interno di un'unica pagina, riportata in Fig.A.4, nella quale vengono usate due strutture identiche per creare le funzioni logiche necessarie.

Con riferimento alla parte superiore del blocco, il latch A viene attivato quando è presente l'impulso all'interno del segnale *Incr\_Sensib* (proveniente dalla pagina *Segnali\_Sensib*) mentre il commutatore delle modalità si trova nella posizione F (Fig.4.11) corrispondente all'*altezza automatica*. L'uscita dal latch viene ritardata di un ciclo di clock in modo da permettere alla memoria C, pilotata del segnale *Incr\_Sensib*, di campionare il dato presente nella memoria non volatile E. A questo punto, grazie all'uscita del latch A, il segnale *Sensib\_Dis*, che identifica il valore da visualizzare sullo schermo dell'operatore, non sarà più rappresentato dal valore memorizzato in E ma da quello campionato da C ed incrementato di 1.

Il successivo impulso del segnale *Incr\_Sensib*, causato dall'attivazione del pulsante M in Fig.4.11, avverrà sicuramente dopo un ciclo di clock e questo permette la commutazione dell'interruttore B e la conseguente creazione di un circuito a retroazione tra il sommatore F e la memoria C. In questo modo il campionamento effettuato da C memorizza il valore precedente aumentato di una unità e non più il valore presente in E che rimarrà immutato.

Le specifiche progettuali richiedono che il valore di sensibilità possa essere incrementato fino ad un massimo di 5 per poi ripartire da 1 alla successiva attivazione del pulsante M. Per questo il segnale in uscita dal sommatore F

viene comparato da D che, con l'ausilio di un interruttore, porta a 1 il valore del dato che verrà campionato da C se questo è maggiore di 5.

Durante tutto il processo il valore contenuto nella memoria non volatile E rimane inalterato, come richiesto dalle specifiche. La memorizzazione avviene solamente alla fine della fase di modifica della sensibilità grazie alla presenza del componente G che produce un impulso in risposta al fronte di discesa del segnale *Visual\_sensib*, che segnala la conclusione della fase di modifica della sensibilità, mentre il commutatore si trova nella posizione dell'*altezza variabile*. Il segnale così generato, oltre a consentire la memorizzazione del dato, porta a resettare il latch A in modo da riportare l'intera struttura alle condizioni iniziali.

La parte inferiore della Fig.A.4 presenta la logica per modificare e memorizzare il valore di sensibilità relativo alla modalità *altezza fissa*. Come si può vedere la struttura è del tutto analoga a quella utilizzata per la modalità *altezza variabile* data l'uguaglianza dei procedimenti. L'unica differenza risiede nel segnale di controllo che in questo è *Alt\_Fissa* che è attivo quando il sistema si trova in modalità *altezza fissa*.

### Impostazione della Sensibilità per le Modalità Galleggiamento

◆ *Percorso:* Top → Application → Segnali → Sensibilità → Sensib\_Press

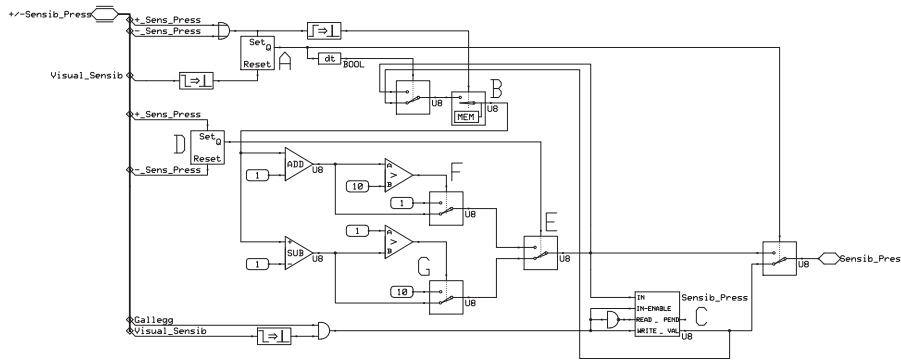


Figura A.5: In questa pagina è contenuta la funzione che consente di incrementare e diminuire il valore di sensibilità, relativo alle modalità galleggiamento, e di memorizzarlo solamente alla fine della fase di modifica.

La gestione dell'impostazione della sensibilità relativa alla modalità *galleggiamento* è affidata alla funzione logica contenuta nella pagina *Sensib\_Press* rappresentata in Fig.A.5.

Il latch A viene attivato attraverso il segnale  $+_{Sens\_Press}$  oppure  $-_{Sens\_Press}$  (in ultima analisi dovuta, rispettivamente, ai pulsanti L ed N di Fig.4.11). L'uscita dal latch viene ritardata di un ciclo di clock in modo da permettere alla memoria B, pilotata di due segnali d'ingresso, di campionare il dato presente nella memoria non volatile C. A questo punto, grazie all'uscita del latch A, il segnale *Sensib\_Press*, che identifica il valore da visualizzare sullo schermo dell'operatore, non sarà più rappresentato dal valore memorizzato in C ma da quello campionato da B ed incrementato o diminuito di 1 a seconda del pulsante attivato.

Attraverso il latch D, il segnale  $+_{Sens\_Press}$  porta l'interruttore E a creare un circuito a retroazione tra il sommatore e la memoria C in modo che il dato visualizzato dall'operatore venga costantemente aumentato di 1. Viceversa, il segnale  $-_{Sens\_Press}$  conduce ad una retroazione tra il sottrattore e la memoria C per diminuire il valore visualizzato.

Le specifiche progettuali richiedono che il valore di sensibilità possa essere incrementato fino ad un massimo di 10 per poi ripartire da 1 alla successiva attivazione del pulsante L. Per questo il segnale in uscita dal sommatore viene comparato da F che, con l'ausilio di un interruttore, porta a 1 il valore del dato che verrà campionato da B se questo è maggiore di 10. In maniera speculare viene richiesto il valore di sensibilità possa essere diminuito fino ad 1 per poi ripartire dal valore massimo 10 alla successiva attivazione del pulsante N. Per questo il segnale in uscita dal sottrattore viene comparato da G che, con

l'ausilio di un interruttore, porta a 10 il valore del dato che verrà campionato da B se questo è minore di 1.

Durante tutto il processo il valore contenuto nella memoria non volatile C rimane inalterato, come richiesto dalle specifiche. La memorizzazione avviene solamente alla fine della fase di modifica della sensibilità grazie al riconoscimento del fronte di discesa del segnale *Visual\_sensib*, che segnala la conclusione della fase di modifica della sensibilità, mentre il commutatore si trova in posizione G che corrisponde al *galleggiamento*. Questo abilita la memorizzazione del dato e resetta il latch A in modo da riportare l'intera struttura alle condizioni iniziali.





### Memorizzazione dell'Altezza di Riferimento della Modalità Altezza Fissa

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Controllo → Contr\_Pos → Mem\_Segn\_Pos

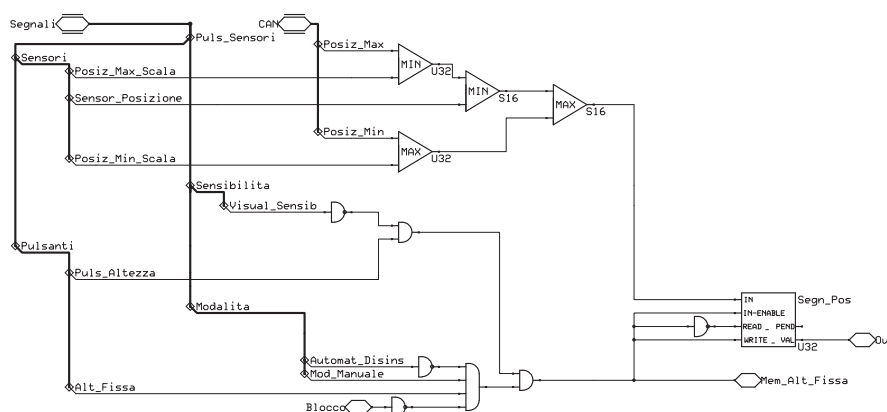


Figura A.7: La figura riporta la struttura utilizzata per memorizzare l'altezza di riferimento della modalità altezza fissa filtrando i valori non accettabili.

La pagina riportata in Fig.A.7 si presenta divisa in due parti: quella superiore consente di filtrare i valori che, secondo le specifiche progettuali, non possono essere memorizzati mentre quella inferiore genera il segnale che abilita la scrittura del dato in memoria.

Il dato da memorizzare, contenuto nel segnale *Sensor\_Posizione*, viene comparato con il valore più piccolo (che rappresenta la condizione più restrittiva) tra la posizione massima della barra definita dall'utente e quella rilevabile dal sensore selezionando il valore minore. Successivamente, in maniera speculare, avviene un'ulteriore confronto tra il dato appena ottenuto ed il valore più grande tra la posizione minima della barra definita dall'utente e quella rilevabile dal sensore selezionando solamente il valore maggiore. A questo punto, il valore d'altezza ottenuto rispetta sicuramente le specifiche di progetto e può essere salvato nella memoria non volatile.

Per memorizzare il dato è necessario premere il pulsante N in Fig.4.11 in modo da attivare il segnale *Puls\_Altezza*. Durante la fase di modifica della sensibilità questo pulsante è usato per altri scopi per cui la memorizzazione viene inibita attraverso la porta logica AND, posta nella parte centrale della pagina, la cui uscita è nulla quando *Visual\_Sensib* è attivo.

La porta logica AND a quattro ingressi consente di escludere la possibilità di memorizzare un valore quando il sistema si trova in modalità *automatico disinserito* oppure quando è attivo il segnale *Blocco*. Inoltre garantisce che la scrittura del dato avvenga solamente in modalità *manuale* mentre il commutatore della Fig.4.11 si trova in posizione E, indicando l'altezza fissa.

### Controllo Automatico della Flottazione Laterale

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Controllo → Contr\_Dx\_Sx → Contr\_Auto

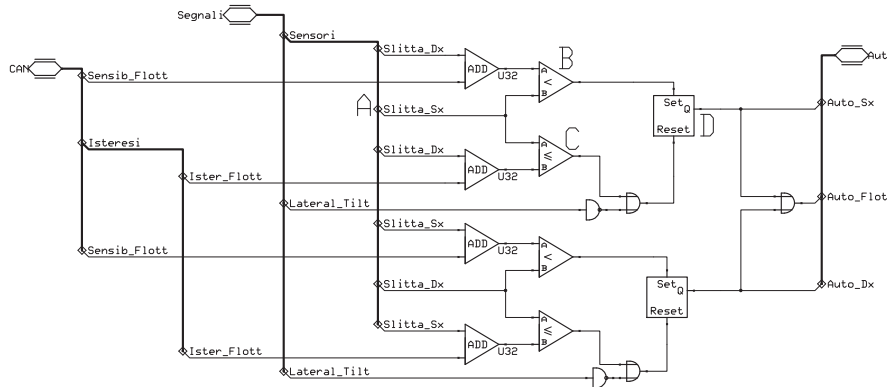


Figura A.8: Nella figura è rappresentata logica che consente di realizzare un controllo automatico della flottazione laterale della testata.

La realizzazione del codice che sovrintende il controllo automatico della flottazione laterale della testata, attivo con la modalità *flottazione automatica*, è contenuta all'interno di una pagina a sé stante chiamata *Contr\_Auto*. Come mostrato dalla Fig.A.8, la struttura interna presenta una marcata simmetria tra la parte superiore e quella inferiore le quali realizzano le funzioni logiche necessarie a generare i segnali di comando dell'elettrovalvola sinistra e destra, rispettivamente.

Analizzando la parte superiore della pagina, si nota come il segnale *Slitta\_Sx*, indicato con la lettera A e che riporta l'altezza registrata dal sensore angolare posto sulla slitta sinistra, venga preso come riferimento per due confronti necessari a pilotare il latch D. Lo scopo di questo controllo è di garantire che i sensori angolari posti sulle slitte registrino sempre la medesima altezza in modo da mantenere la barra di taglio parallela al terreno.

Il comparatore B verifica quando l'altezza della slitta sinistra è maggiore di quella registrata dal sensore destro, a cui è aggiunto il valore di sensibilità relativa alla modalità *flottazione automatica*, generando, in quel caso, un segnale che attiva il latch D la cui uscita, *Auto\_Sx*, serve a comandare l'elettrovalvola sinistra. A questo punto la barra di taglio inizia ad abbassare il suo lato sinistro (ed alzare, di conseguenza, quello destro). Quando il comparatore C rileva che l'altezza della slitta sinistra ritorna ad essere uguale (o minore) del valore registrato dal sensore destro, a cui è aggiunto il valore di isteresi, viene generato un segnale che resetta D e, conseguentemente, ferma il movimento della testata disattivando *Auto\_Sx*.

Il reset del latch D è dovuto anche al segnale *Lateral\_Tilt* che è attivo quando il sistema si trova in modalità *flottazione automatica* e quindi, se l'interruttore H in Fig.4.11 non è attivato, il segnale di reset del latch sarà sempre a 1 impedendo qualsiasi attività automatica sull'elettrovalvola sinistra.

L'attivazione del controllo automatico sull'elettrovalvola destra, *Auto\_Dx*, si svolge in maniera completamente speculare, invertendo gli ingressi dei segnali provenienti dai sensori angolari.

Altre funzionalità del programma presentano la necessità di conoscere quando il controllo automatico agisce sulle elettrovalvole. Per questo motivo, attraverso la porta logica OR posta nella parte destra della pagina, viene generato il segnale *Auto\_Flott* a partire dai segnali di comando elaborati dalla logica interna alla pagina.

## Visualizzazione dell'Altezza o della Pressione

◆ *Percorso:* Top → Application → CAN\_Bus → Display → Visual\_Altezze

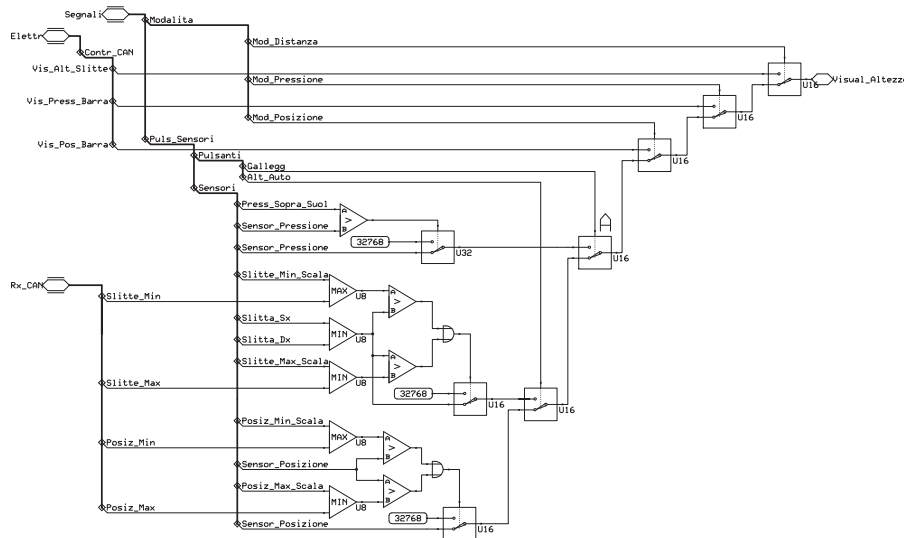


Figura A.9: La figura riporta la funzione logica che sovrintende la visualizzazione sullo schermo del valore di altezza o di pressione registrati dai sensori.

La pagina *Visual\_Altezze*, riportata in Fig.A.9, mostra una netta divisione tra la logica utilizzata per decidere da che sensore prelevare il dato da visualizzare (parte in alto) e la logica utilizzata per filtrare quest'ultimo secondo le specifiche (parte in basso).

Nella parte inferiore il segnale *Sensor\_Posizione*, indicante l'altezza registrata dal sensore posto sull'elevatore, viene confrontato in modo da stabilire se rientra nell'intervallo di lavoro stabilito. In caso contrario viene inviato in uscita il numero 32768, che rappresenta il valore massimo attribuibile al segnale (intero a 32 bit) ed è impossibile da raggiungere durante le condizioni operative. Il microcontrollore presente all'interno del monitor, opportunamente programmato, sarà in grado di riconoscere questo dato e visualizzare la scritta *OFF*, come richiesto dalle specifiche di progetto.

La comparazione per i segnali provenienti dalle slitte avviene allo stesso modo utilizzando come riferimento il valore del sensore più vicino al suolo. Il dato indicante la pressione, invece, è confrontato solamente con la pressione di soglia memorizzata durante la calibrazione.

L'uscita dell'interruttore A è relativa alla posizione del commutatore delle modalità posto nella cabina di guida: se è selezionata la modalità *galleggiamento* in uscita avremo il valore di pressione registrata, se è selezionata l'*altezza variabile* avremo l'altezza della slitta più bassa altrimenti l'uscita

riporta il valore del sensore posto sull'elevatore dato che, per esclusione, è selezionata la modalità *altezza fissa*.

Gli interruttori presenti nella parte superiore della pagina, invece, consentono, quando è attiva una modalità automatica, di visualizzare sullo schermo il valore di riferimento impostato dall'operatore. Se il sistema si trova in modalità *manuale* o *automatico disinserito*, tutti questi tre interruttori sono nella posizione di riposo dando al segnale *Visual\_Altezze* il valore del dato in uscita da A.

## Visualizzazione della Sensibilità e Gestione del Display

◆ *Percorso:* Top → Application → CAN\_Bus → Display → Visual\_Display

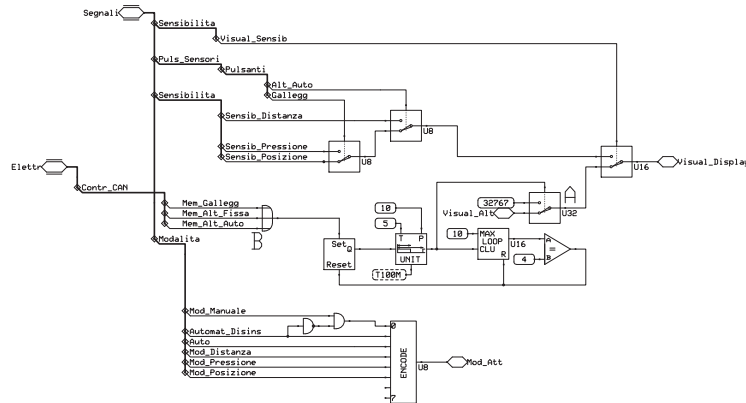


Figura A.10: Nella pagina in figura è contenuta la logica che consente di visualizzare il valore di sensibilità impostato, quando necessario, e di gestire il funzionamento generale del monitor.

La struttura interna della pagina *Visual\_Display*, descritta in Fig.A.10, è suddivisa in tre parti.

La parte superiore consente di visualizzare sullo schermo il valore della sensibilità quando il sistema si trova nella fase di modifica, indicata dall'attivazione del segnale *Visual\_Sensib*. La sensibilità visualizzata sarà quella relativa alla modalità selezionata dall'apposito commutatore posto all'interno della cabina di guida.

La parte centrale riceve il valore di altezza o pressione da visualizzare, proveniente dal blocco *Visual\_Altezze*, attraverso l'interruttore A. Seguendo le specifiche però, essa fa lampeggiare il dato sullo schermo per 4 secondi quando è avvenuta la memorizzazione del valore di riferimento (indicata dall'attivazione di uno dei tre ingressi della porta logica OR indicata con B). Ora, attraverso l'attivazione di un latch, viene generata un'onda quadra il cui periodo è pari a 1 secondo che attiva e disattiva l'interruttore A ogni 500 ms fino a che il contatore non rileva il passaggio di quattro fronti di salita (equivalenti a 4 secondi) producendo un segnale che resetta il latch. Il valore di 32767, utilizzato per attivare l'intermittenza del segnale, è successivamente riconosciuto dal microcontrollore presente sullo schermo il quale provvederà a non mostrare nessun valore durante la ricezione di tale dato.

Infine la parte inferiore codifica i segnali che rappresentano l'attivazione delle diverse modalità di lavoro del sistema, in modo che il microcontrollore dello schermo possa decodificarle e mostrarli all'operatore.

## Segnali di Sicurezza

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Sicur\_Damp → Sicurezza

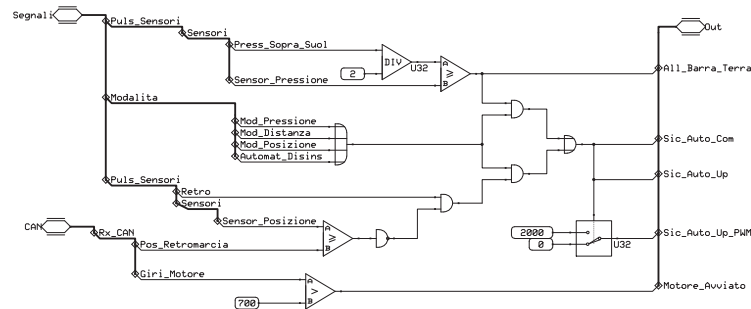


Figura A.11: La figura presenta le funzioni in grado di generare i segnali necessari al sistema per rispettare i parametri di sicurezza richiesti dalle specifiche.

Nella parte superiore della pagina *Sicurezza*, rappresentata in Fig.A.11, il comparatore valuta quando la pressione nel circuito idraulico scende al di sotto del valore di soglia generando il segnale d'allarme *All\_Barra\_Terra*. Comunque l'attivazione del sollevamento di sicurezza (definito dai segnali *Sic\_Auto\_Com*, *Sic\_Auto\_Up* e *Sic\_Auto\_Up\_PWM*) avviene solamente quando il sistema si trova in modalità automatica ed in modalità *automatico disinserito*.

Analogamente, come indicato nella parte centrale della pagina, il sollevamento della piattaforma di taglio quando è inserita la retromarcia non avviene solo se il sistema si trova in modalità *manuale*. Il controllo del movimento è progettato per portare la barra ad un'altezza predefinita dall'operatore e contenuta nel segnale *Pos\_Retromarcia*.

Nella parte inferiore della pagina un comparatore genera il segnale *Motore\_Avviato* quando il numero dei giri al minuti compiuti dal motore supera il valore di 700.



## A.2 Strutture Semplici

### Inibizione del Funzionamento dei Pulsanti

◆ *Percorso:* Top → Application → Segnali → Puls\_Sensori → Inibiz\_Puls

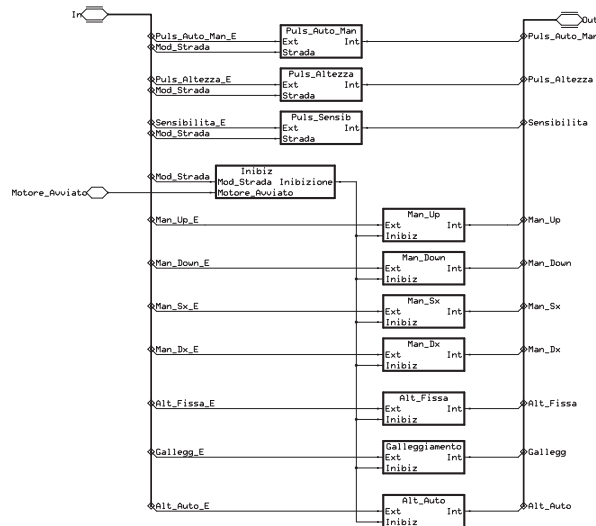


Figura A.12: La logica contenuta in questa pagina consente di inibire il funzionamento dei pulsanti nelle condizioni previste dalle specifiche di progetto, come nel caso in cui il sistema sia in modalità strada. Inoltre sviluppa la funzione per filtrare gli impulsi spuri provenienti dai comandi posti nella cabina di guida. Non è previsto un controllo software per impedire la presenza contemporanea di più di un segnale proveniente dai pulsanti della leva di comando dato che quest'ultima, grazie alla sua conformazione, consente l'attivazione di un pulsante alla volta.

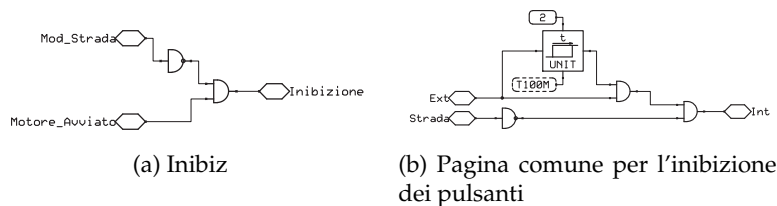


Figura A.13: All'interno del blocco Inibiz\_Puls sono presenti solamente due tipologie di pagine. La fig.(a) riporta il contenuto della pagina Inibiz che genera il segnale necessario ad inibire alcuni pulsanti. Tutte gli altri blocchi presenti derivano da un'unica pagina, fig.(b), che consente di bloccare l'uscita del segnale attraverso la porta logica AND e di filtrare gli impulsi spuri (inferiori ai 200 ms).

## Controllo sul Funzionamento dei Sensori

◆ *Percorso:* Top → Application → Segnali → Puls\_Sensori → Funz\_Sensori

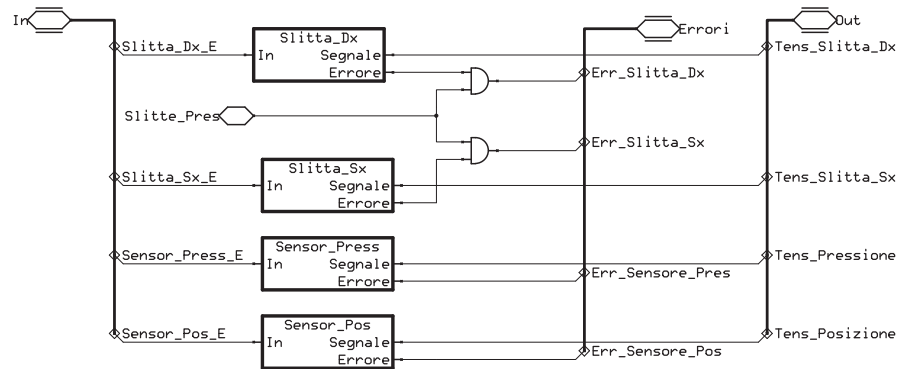


Figura A.14: Grazie alle funzioni svolte dalla pagine contenute in Funz.Sensori è possibile segnalare quando la tensione in arrivo dal sensore fuoriesce dall'intervallo di funzionamento (500 - 4500 mV) e limitarne il valore alla massima soglia definita dalle specifiche funzionali (4500 mV). Dato che la mancanza delle slitte provocherebbe la generazione di un errore (il segnale nullo è ovviamente al di fuori dell'intervallo di funzionamento) quest'ultimo è condizionato al segnale Slitte\_Pres attivo quando le slitte sono presenti sulla barra che viene montata.

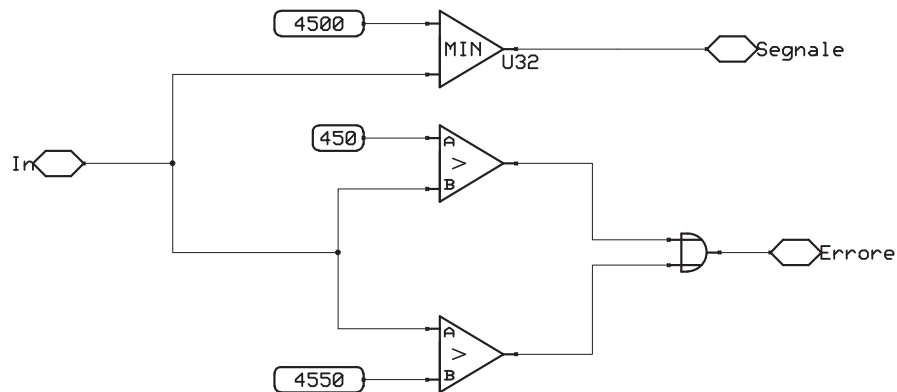


Figura A.15: Tutte le pagine contenute all'interno di Funz.Sensori derivano da un'unica pagina, rappresentata in figura, che permette di limitare il segnale in ingresso a 4500 mV e generare un segnale d'errore quando l'ingresso esce dall'intervallo 450-4550 mV, in cui i 50 mV di differenza con le specifiche funzionali del sensore servono a equilibrare eventuali piccole non idealità.

## Conversione della Tensione dei Sensori

◆ Percorso: Top → Application → Segnali → Puls\_Sensori → Valore\_Sensori

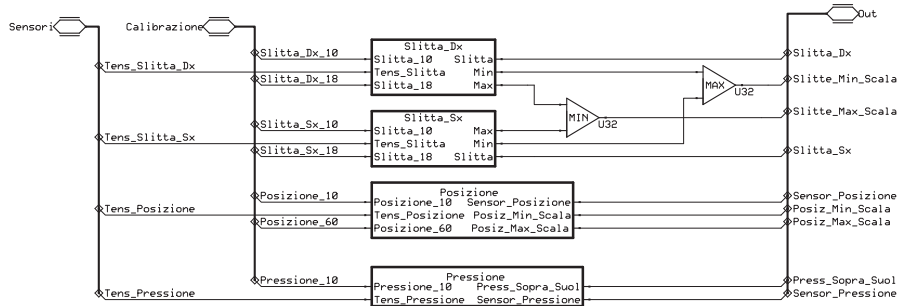


Figura A.16: La logica contenuta all'interno delle pagine presenti nel blocco Valore\_Sensori, rappresentata in figura, consente di convertire il valore di tensione fornito dai sensori nelle grandezze naturali che vengono misurate: i centimetri per l'altezza e i bar per la pressione. Oltre a questo vengono generati i segnali che riportano i valori limite (massimi e minimi) che possono essere misurati dal sensore in base all'intervallo di tensione entro cui possono funzionare. I valori limite provenienti dai sensori posti sulle slitte vengono comparati per stabilire i più restrittivi che verranno poi utilizzati in altre parti del software.

◆ Percorso: Top → Application → Segnali → Puls\_Sensori → Valore\_Sensori → Pressione

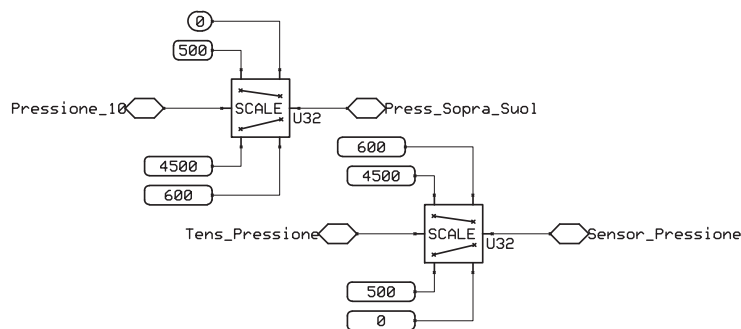


Figura A.17: All'interno di Valore\_Sensori, le pagine che ricevono la tensione dei sensori angolari presentano la stessa struttura descritta a pag.73. L'esempio riportato in figura rappresenta la pagina Pressione che riceve il segnale dal sensore di pressione di cui si conoscono le specifiche funzionali, e, attraverso il componente SCALE, genera il segnale che riporta la pressione della barra a 10 cm dal suolo (che rimarrà costante fintanto che la testata rimarrà sollevata dal terreno) ed il segnale con la pressione attuale registrata dal sensore.

## Selezione delle Modalità di Lavoro

◆ *Percorso:* Top → Application → Segnali → Selez\_Modalita

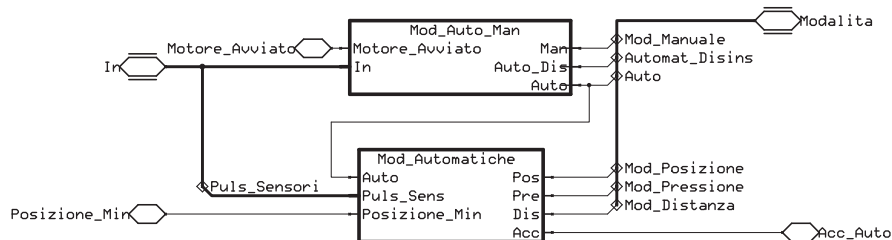


Figura A.18: All'interno della pagine riportate in figura sono contenute le funzioni necessarie a gestire le commutazioni fra le varie modalità di lavoro del sistema. Ognuno dei segnali d'uscita, contenuti nel blocco Modalita è collegato ad una specifica modalità.

◆ *Percorso:* Top → Application → Segnali → Selez\_Modalita → Mod\_Automatiche

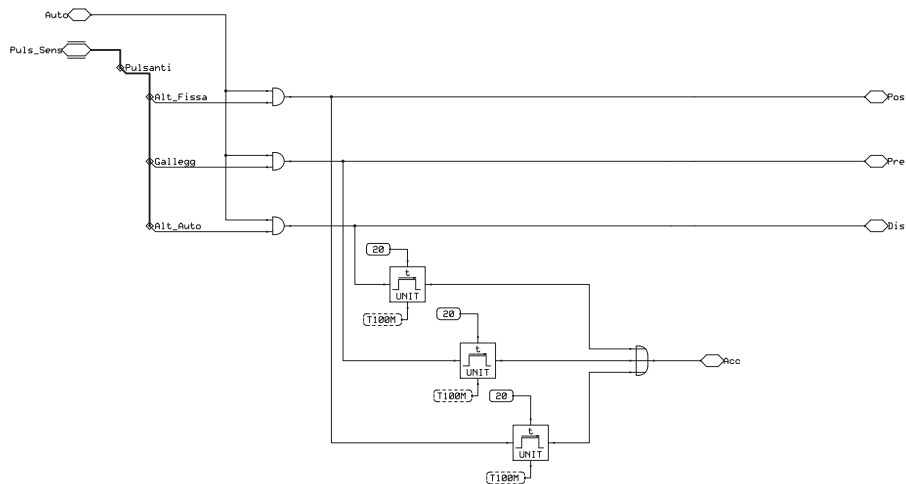


Figura A.19: Quando il segnale Auto è attivo il sistema si trova nella modalità automatica definita dalla posizione dell'apposito commutatore che serve ad attivare uno dei tre segnali provenienti dal bus Pulsanti in modo da portare a 1 solamente uno dei segnali collegati alle modalità di lavoro. Quando questo accade le specifiche richiedono che gli accumulatori vengano staccati per un determinato periodo definito dai blocchi di ritardo posti nella parte inferiore della figura.



### Abbassamento della Testata dovuto alla Retroazione del Controllo dell'Altezza dell'Elevatore

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Controllo → Contr\_Pos → Controllo\_Pos → Pos\_Down\_Log

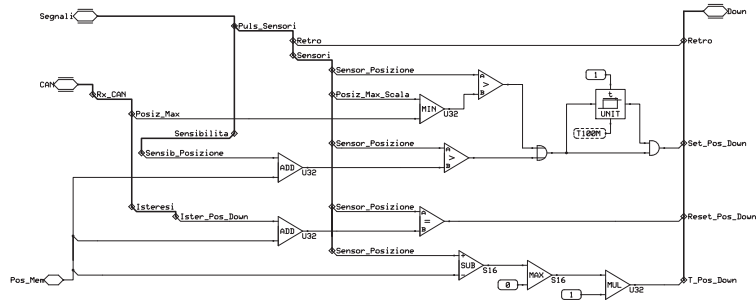


Figura A.22: La figura riporta la logica necessaria ad implementare un controllo a retroazione per valori superiori a quello di riferimento e che conduca, quindi, ad un abbassamento della testata. La struttura rappresentata in figura è analoga a quella descritta a pag.81 eccetto alcune differenze riguardanti i componenti utilizzati. Data l'opposta simmetria fra le due operazioni svolte (sollevamento e abbassamento) accade che anche alcuni elementi logici risultino speculari nelle loro funzioni (sommatori e sottrattori, comparatori di maggioranza e di minoranza) e che altri elementi presentino gli ingressi invertiti.

### Inibizione dei Segnali di Controllo

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Controllo → Contr\_Pos → Contr\_Pos\_And

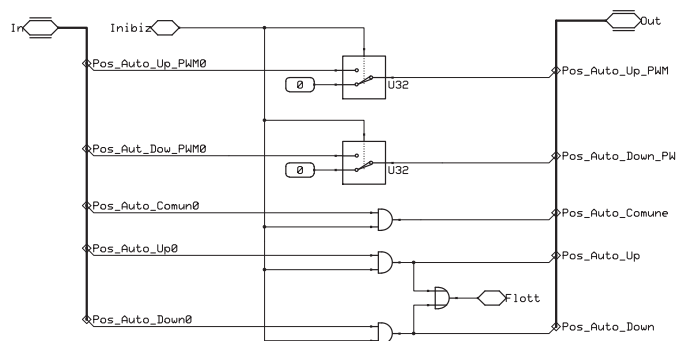
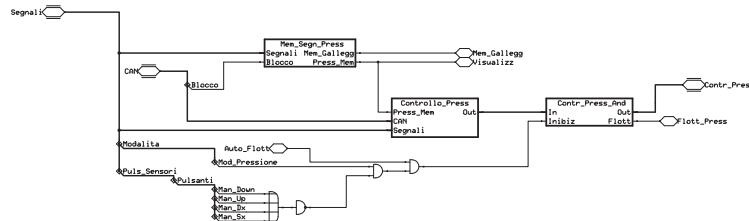


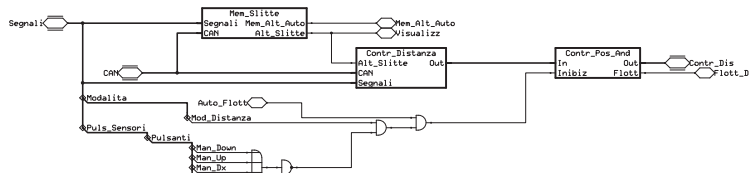
Figura A.23: La funzione svolta dai componenti presenti in figura è quella di inibire l'uscita dei segnali di controllo generati dalla pagine a monte quando viene attivato il segnale Inibiz, a sua volta prodotto da una funzione logica specifica.

## Controllo dell'Altezza dell'Elevatore

◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Controllo



(a) Modalità galleggiamento



(b) Modalità altezza variabile

Figura A.24: Le due figure racchiudono la logica necessaria per generare i segnali di controllo dell'altezza della testata in modalità galleggiamento (fig.(a)) e altezza variabile (fig.(b)). Esse presentano la medesima struttura anche delle pagine interne che è identica a quella utilizzata per il controllo del sistema durante la modalità altezza fissa il cui blocco iniziale è descritto a pag.79.

## Generazione del Segnale PWM

◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Comando → Up\_Down\_Prop → Prop

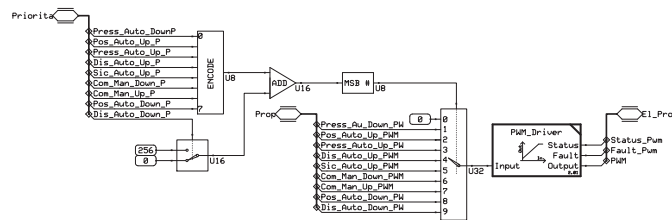


Figura A.25: Attraverso il blocco PWM\_Driver, fornito all'interno del software PLUS+1 GUIDE, è possibile generare il segnale PWM necessario per il funzionamento dell'elettrovalvola proporzionale. I segnali di priorità consentono di pilotare un interruttore a 9 ingressi in modo da scegliere il valore di duty cycle del segnale PWM proveniente dal controllo prioritario.

### Controllo della Flottazione Laterale

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Controllo → Contr\_Dx\_Sx

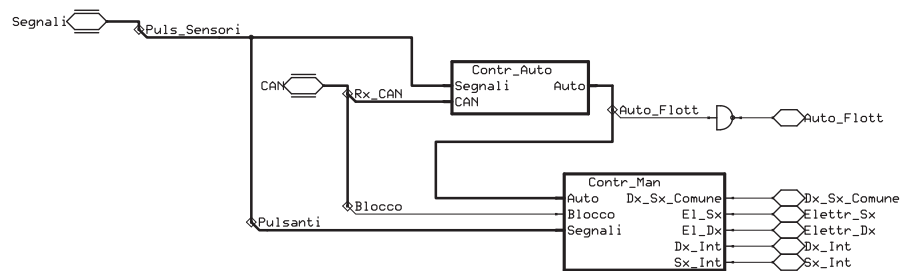


Figura A.26: La pagina Contr\_Dx\_Sx racchiude la logica necessaria al controllo della flottazione laterale della barra di taglio e al comando delle elettrovalvole destra e sinistra. Il controllo è diviso in due blocchi, uno per la parte automatica ed un altro per quella manuale. Quest'ultimo riceve i segnali prodotti dal controllo automatico e, combinandoli con i segnali provenienti dalla cabina di guida, genera i segnali necessari all'azionamento delle elettrovalvole.

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Controllo → Contr\_Dx\_Sx → Contr\_Man

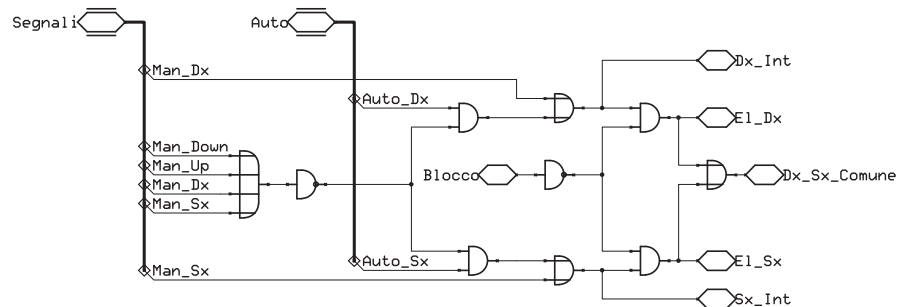


Figura A.27: All'interno della pagina Contr\_Man, il comando delle elettrovalvole da parte del controllo automatico viene inibito in presenza di comandi manuali sul movimento della barra. Vengono generati dei segnali interni che indicano l'attivazione dell'elettrovalvola che, attraverso il segnale Blocco, non è permessa in caso di malfunzionamento del microcontrollore MC 50-10.



### Comando delle Elettrovalvole

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Comando → Creazione\_Bus

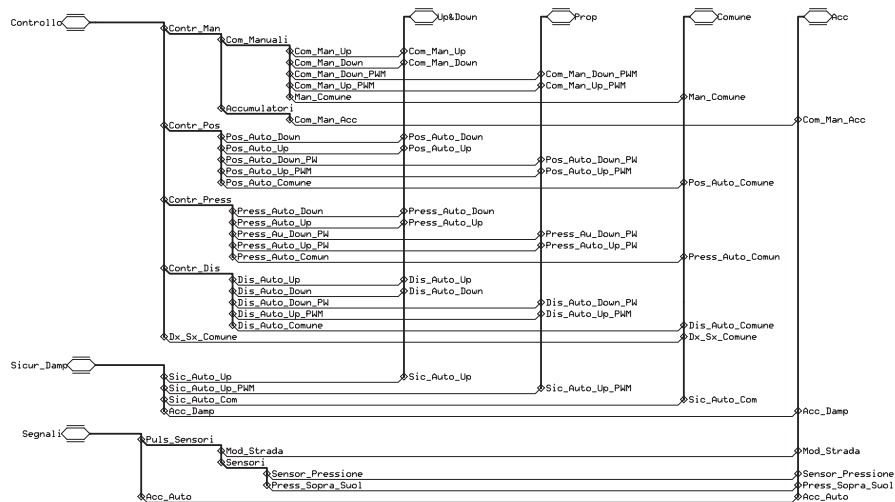


Figura A.28: All'interno della pagina Comando, descritta a pag.84, i diversi blocchi necessitano di segnali provenienti da diverse parti del software. Allo scopo di rendere più chiara la struttura e semplificarne la comprensione è stata creata la pagina Creazione\_Bus che riceve in ingresso tutti i segnali di controllo, necessari per l'attivazione delle elettrovalvole, e li smista nei bus diretti verso i blocchi di riferimento.

- ◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Comando → Comune

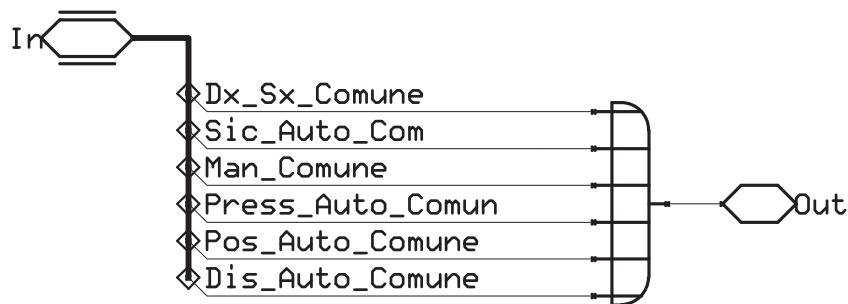


Figura A.29: Questa pagina è utilizzata per generare il segnale di comando dell'elettrovalvola comune attraverso una porta logica OR in modo che tutti i segnali provenienti dai blocchi di controllo siano in grado di attivare l'operazione di apertura.

◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Comando → Acc

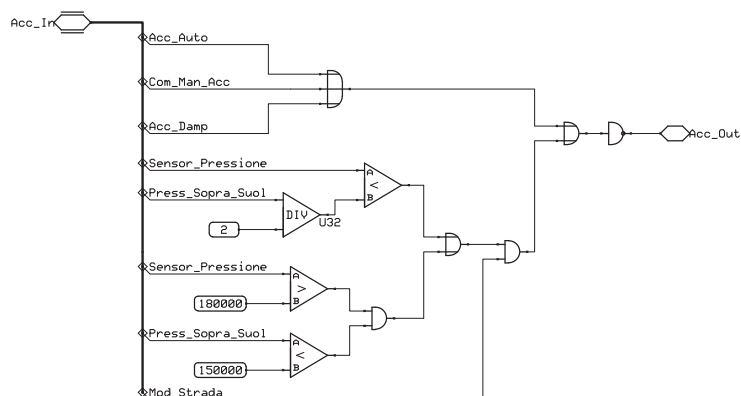


Figura A.30: In questa pagina viene generato il segnale che pilota l'elettrovalvola degli accumulatori. Per farlo riceve i segnali provenienti dai blocchi di controllo (presenti nella parte alta della figura), procedendo, inoltre, ad un controllo autonomo sulla pressione registrata e sull'attivazione della modalità strada per spegnere gli accumulatori secondo quanto previsto dalle specifiche progettuali.

◆ *Percorso:* Top → Application → Elettrovalvole → Comando → Output

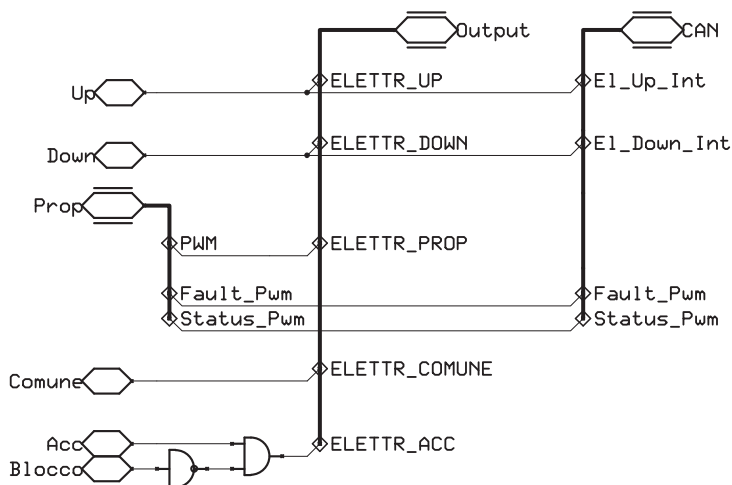


Figura A.31: Prelevando i dati dagli altri blocchi di comando, in questa pagina vengono generati i segnali che andranno direttamente ai piedini d'uscita per pilotare le elettrovalvole. Inoltre vengono prodotti dei segnali interni che identificano l'attivazione delle elettrovalvole di sollevamento e abbassamento.

### Memorizzazione della Tensione durante la Calibrazione

◆ *Percorso:* Top → Application → Segnali → Calibrazione

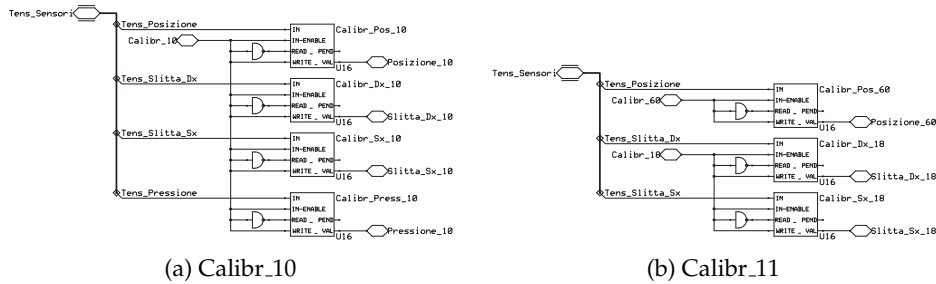


Figura A.32: La memorizzazione del valore di tensione registrato durante la fase di calibrazione avviene grazie ai segnali generati all'interno della pagina Generaz\_Segnali, descritta a pag.97. Nella figura (a) avviene la scrittura in memoria delle tensioni registrate a 10 cm dal suolo mentre in (b) vengono elaborati i dati che devono essere memorizzati a 18 cm d'altezza assieme alla tensione registrata del sensore sull'elevatore quando la testata è a 60 cm.

### Sensibilità

◆ *Percorso:* Top → Application → Segnali → Sensibilità

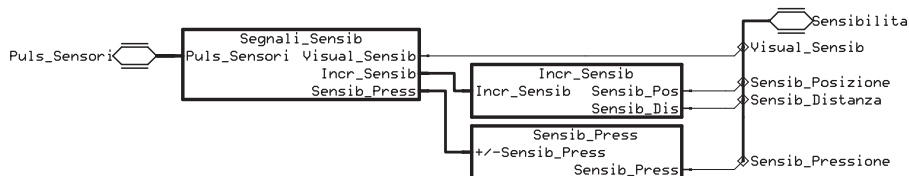


Figura A.33: All'interno della pagina Sensibilità è contenuta la logica per impostare le sensibilità relative alle modalità di lavoro automatiche. I blocchi interni generano i segnali necessari e memorizzano il valore definito dall'operatore.

## CAN-Bus

◆ *Percorso:* Top → Application → CAN\_Bus

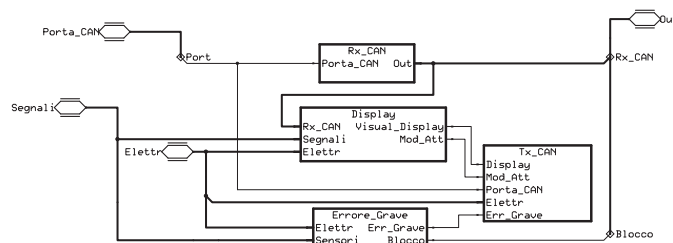


Figura A.34: Il blocco CAN\_Bus riportato in figura, racchiude tutte le funzionalità del microcontrollore MC 50-10 che devono interfacciarsi con altre unità del sistema, come il motore o il monitor, attraverso il protocollo CAN-Bus. Inoltre, contiene la logica che consente di rilevare un malfunzionamento grave della centralina di controllo. Dato che il sistema è ancora in fase prototipale le sue capacità operative non sono ancora complete.

## Ricezione dei Dati attraverso la rete CAN-Bus

◆ *Percorso:* Top → Application → CAN\_Bus → Rx\_CAN

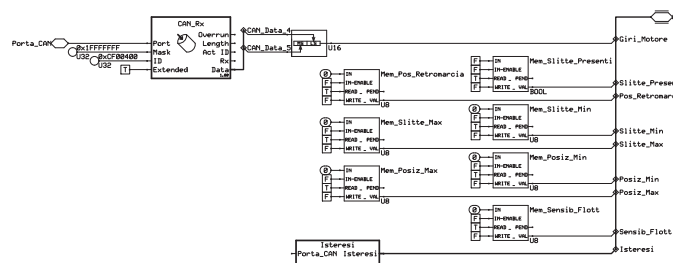


Figura A.35: Questa pagina è stata progettata per contenere la logica che sovrintende alla ricezione dei dati attraverso il protocollo CAN-Bus. Dato che il prototipo su cui si sono svolti i test non era ancora dotato del monitor touch-screen, non è stato possibile prevedere una struttura di ricezione per i dati provenienti dall'operatore i quali sono stati salvati all'interno di apposite memorie non volatili (presenti anche all'interno della pagina Isteresi) per poter essere, eventualmente, modificati attraverso il computer durante la fase di test. La ricezione del numero dei giri del motore, invece, avviene attraverso il protocollo CAN-Bus grazie ad un'apposito componente, chiamato CAN\_Rx e fornito direttamente dal software PLUS+1 GUIDE, che scompone il dato in ingresso in modo che se ne possa prelevare solo la parte necessaria (in questo caso il quarto ed il quinto byte).

### Trasmissione dei Dati attraverso la rete CAN-Bus

◆ *Percorso:* Top → Application → CAN\_Bus → Tx\_CAN

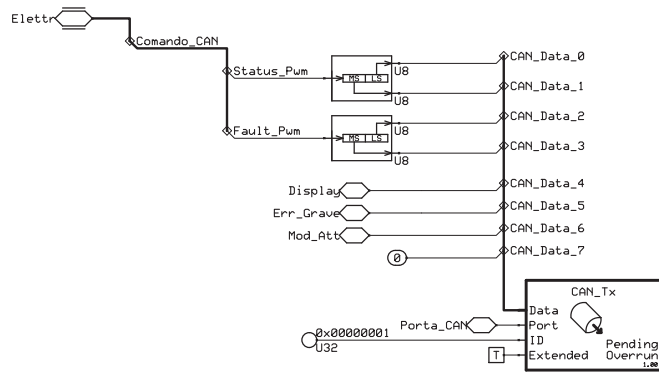


Figura A.36: Questa pagina è stata progettata per contenere la logica che sovrintende alla trasmissione dei dati attraverso il protocollo CAN-Bus. Dato che il prototipo su cui si sono svolti i test non era ancora dotato del monitor touch-screen, non è stato possibile prevedere una struttura di trasmissione per i dati provenienti dall'operatore ma, in questo caso, sono stati inviati al computer utilizzato per monitorare il sistema durante la fase di test. I dati inviati riguardano lo stato della valvola PWM, i valori da visualizzare sullo schermo dell'operatore, la modalità attiva e la presenza di un malfunzionamento grave del microcontrollore MC 50-10.

### Pagine Contenitore

◆ *Percorso:* Top → Application → CAN\_Bus

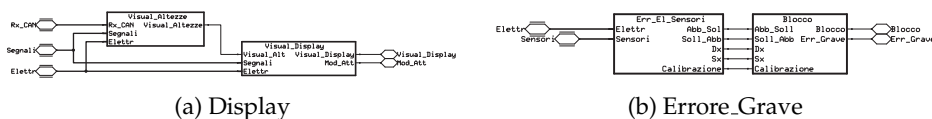


Figura A.37: Le due figure rappresentano due pagine contenitore all'interno del blocco CAN\_Bus. La fig.(a) racchiude la logica di gestione della visualizzazione dei dati sul display della cabina di guida mentre la fig.(b) contiene la logica che riconosce il malfunzionamento del sistema di controllo.

## Malfunzionamento del Microcontrollore

◆ *Percorso:* Top → Application → CAN\_Bus → Errore\_Grave → Err\_El\_Sensori

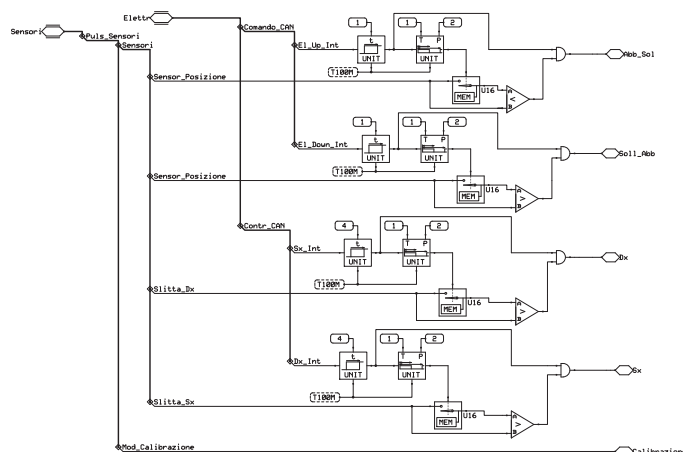


Figura A.38: All'interno di questa pagina il valore dei sensori viene campionato ad intervalli di 200 ms quando si attivano le elettrovalvole di sollevamento o abbassamento. Se la variazione dei valori registrati dai sensori non è congruente con la valvola attivata (ad esempio, il sensore segnala un sollevamento della barra quando è attivata l'elettrovalvola di abbassamento) viene generato un segnale d'allarme.

## Segnale di Blocco

◆ *Percorso:* Top → Application → CAN\_Bus → Errore\_Grave → Blocco

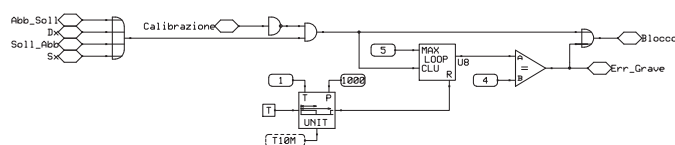


Figura A.39: Il malfunzionamento del sistema è indicato dagli ingressi alla porta logica OR posta nel lato sinistro della pagina. Se si ricevono almeno quattro segnali d'errore in meno di 10 secondi viene segnalato un errore grave ed è generato il segnale di blocco delle attività del sistema. Questo controllo di sicurezza non è attivo durante la fase di calibrazione.







---

## Elenco delle Figure

---

2.1	Barra a grano con aspo . . . . .	4
2.2	Elementi trebbianti . . . . .	5
2.3	Struttura completa della mietitrebbiatrice convenzionale . . . . .	6
2.4	Mietitrebbiatrice non convenzionale a trebbiatura assiale . . . . .	7
2.5	Apparato trebbiante ibrido . . . . .	8
2.6	Primi esempi di meccanizzazione . . . . .	9
2.7	Mietitrebbiatrice autolivellante e con barra a mais . . . . .	10
2.8	Utilizzo dell'aspo . . . . .	11
3.1	Sensore di posizione dell'elevatore . . . . .	18
3.2	Sensore di posizione delle slitte . . . . .	19
3.3	Accumulatore e sensore di pressione . . . . .	20
3.4	Sensibilità del controllo a retroazione . . . . .	21
4.1	Sensore di pressione . . . . .	25
4.2	Sensore angolare ad effetto Hall . . . . .	26
4.3	Funzionamento del sensore ad effetto Hall . . . . .	27
4.4	Elettrovalvola ON/OFF . . . . .	28
4.5	Funzionamento dell'elettrovalvola ON/OFF . . . . .	29
4.6	Elettrovalvola ad apertura proporzionale . . . . .	30
4.7	Funzionamento dell'elettrovalvola ad apertura proporzionale . . . . .	31
4.8	Microcontrollore MC 50-10 . . . . .	32
4.9	Ambiente di sviluppo Plus+1 GUIDE . . . . .	37
4.10	Struttura della rete CAN-Bus . . . . .	39
4.11	Schema dei pulsanti e degli interruttori . . . . .	41
5.1	Rappresentazione circuitale del connettore della MC 50-10 . . . . .	53
5.2	Rappresentazione nello schema elettrico dei componenti del sistema . . . . .	55
5.3	Schema circuitale del sistema di controllo . . . . .	56
5.4	Rappresentazione nello schema elettrico dei componenti del sistema . . . . .	58
5.5	Indicazione delle connessioni nello schema cablativo . . . . .	58

5.6	Rappresentazione della giunzione interna . . . . .	59
5.7	Cablaggio del sistema di controllo dell'altezza di taglio . . . . .	61
5.8	Schema a blocchi della struttura organizzativa del software di controllo . . . . .	64
5.9	Software di controllo: <i>Top</i> . . . . .	65
5.10	Software di controllo: <i>Ingressi</i> . . . . .	66
5.11	Software di controllo: <i>Uscite</i> . . . . .	68
5.12	Software di controllo: <i>Applicazione</i> . . . . .	69
5.13	Software di controllo: <i>Segnali</i> . . . . .	70
5.14	Software di controllo: <i>Puls_Sensori</i> . . . . .	72
5.15	Software di controllo: <i>Slitta_Dx</i> . . . . .	73
5.16	Software di controllo: <i>Mod_Auto_Man</i> . . . . .	74
5.17	Software di controllo: <i>Elettrovalvole</i> . . . . .	76
5.18	Software di controllo: <i>Controllo</i> . . . . .	77
5.19	Software di controllo: <i>Contr_Pos</i> . . . . .	79
5.20	Software di controllo: <i>Controllo_Pos</i> . . . . .	80
5.21	Software di controllo: <i>Pos_Up_Log</i> . . . . .	81
5.22	Software di controllo: <i>Contr_Pos_PWM</i> . . . . .	83
5.23	Software di controllo: <i>Comando</i> . . . . .	84
5.24	Software di controllo: <i>Up_Down_Prop</i> . . . . .	85
5.25	Software di controllo: <i>priorita</i> . . . . .	86
A.1	Software di controllo: <i>Calibrazione</i> . . . . .	96
A.2	Software di controllo: <i>Generaz_Segnali</i> . . . . .	97
A.3	Software di controllo: <i>Segnali_Sensib</i> . . . . .	99
A.4	Software di controllo: <i>Incr_Sensib</i> . . . . .	101
A.5	Software di controllo: <i>Sensib_Press</i> . . . . .	103
A.6	Software di controllo: <i>Com_Man_Up</i> . . . . .	105
A.7	Software di controllo: <i>Mem_Segn_Pos</i> . . . . .	106
A.8	Software di controllo: <i>Contr_Auto</i> . . . . .	107
A.9	Software di controllo: <i>Visual_Altezze</i> . . . . .	109
A.10	Software di controllo: <i>Visual_Display</i> . . . . .	111
A.11	Software di controllo: <i>Sicurezza</i> . . . . .	112
A.12	Software di controllo: <i>Inibiz_Puls</i> . . . . .	113
A.13	Software di controllo: pagine interne a <i>Inibiz_Puls</i> . . . . .	113
A.14	Software di controllo: <i>Funz_Sensori</i> . . . . .	114
A.15	Software di controllo: pagine interne a <i>Funz_Sensori</i> . . . . .	114
A.16	Software di controllo: <i>Valore_Sensori</i> . . . . .	115
A.17	Software di controllo: <i>Pressione</i> . . . . .	115
A.18	Software di controllo: <i>Selez_Modalita</i> . . . . .	116
A.19	Software di controllo: <i>Mod_Automatiche</i> . . . . .	116
A.20	Software di controllo: <i>Contr_Man_El</i> . . . . .	117
A.21	Software di controllo: pagine interne a <i>Contr_Man_El</i> . . . . .	117
A.22	Software di controllo: <i>Pos_Down_Log</i> . . . . .	118

A.23 Software di controllo: <i>Contr_Pos_And</i> . . . . .	118
A.24 Software di controllo: pagine interne a <i>Controllo</i> . . . . .	119
A.25 Software di controllo: <i>Prop</i> . . . . .	119
A.26 Software di controllo: <i>Contr_Dx_Sx</i> . . . . .	120
A.27 Software di controllo: <i>Contr_Man</i> . . . . .	120
A.28 Software di controllo: <i>Creazione_Bus</i> . . . . .	121
A.29 Software di controllo: <i>Comune</i> . . . . .	121
A.30 Software di controllo: <i>Acc</i> . . . . .	122
A.31 Software di controllo: <i>Output</i> . . . . .	122
A.32 Software di controllo: pagine interne a <i>Calibrazione</i> . . . . .	123
A.33 Software di controllo: <i>Sensibilita</i> . . . . .	123
A.34 Software di controllo: <i>CAN_Bus</i> . . . . .	124
A.35 Software di controllo: <i>Rx_CAN</i> . . . . .	124
A.36 Software di controllo: <i>Tx_CAN</i> . . . . .	125
A.37 Software di controllo: pagine interne a <i>CAN_Bus</i> . . . . .	125
A.38 Software di controllo: <i>Err_El_Sensori</i> . . . . .	126
A.39 Software di controllo: <i>Blocco</i> . . . . .	126
A.40 Software di controllo: <i>Sicur_Damp</i> . . . . .	127
A.41 Software di controllo: <i>Damping</i> . . . . .	127

---

## Elenco delle Tabelle

---

4.1	Caratteristiche funzionali del sensore di pressione . . . . .	25
4.2	Caratteristiche funzionali del sensore angolare ad effetto Hall . .	27
4.3	Caratteristiche funzionali dell'elettrovalvola ON/OFF . . . . .	29
4.4	Caratteristiche funzionali dell'elettrovalvola ON/OFF . . . . .	31
4.5	Centralina di controllo MC 50-10: funzione dei pin . . . . .	33
4.6	Centralina di controllo MC 50-10: legenda delle tipologie dei pin	35
4.7	Tabella di verità della comunicazione CAN . . . . .	39
5.1	Priorità dei comandi . . . . .	45
5.2	Modalità di lavoro del sistema di controllo dell'altezza di taglio .	47
5.3	Valori visualizzati sul monitor di comando in modalità manuale .	47
5.4	Suddivisione delle periferiche secondo il segnale utilizzato . . . .	53
5.5	Disposizione dei pin nella centralina MC 50-10 . . . . .	54